A

TREATISE ON ASTRONOMY,

PREPARED FROM

CHAMBERS' WORK ON THAT SCIENCE,

BY

KRISHNA SHASTRI GODBOLE,

ACCEPTED AND REWARDED BY THE LATE

DUKSHINA PRIZE COMMITTEE,

AND PUBLISHED BY ORDER OF THE

DIRECTOR OF PUBLIC INSTRUCTION.

Bombay:

PRINTED AT THE

EDUCATION SOCIETY'S PRESS, BYCULLA.

1862.

Price One Rupee and Four Annas.

ज्योतिःशास्त्र

हा ग्रंथ

इंग्रजी पुस्तकावरून

कृष्ण शास्त्री गोडबोले

ह्यांनीं तयार करून

[illegible]जी दक्षिणा प्रैज कमिटीस नजर केला,

तो हल्लीं

मेहेरबान देरेक्तर आफ् पब्लिक इनस्त्रकशन

ह्यांच्या हुकमावरून छापून प्रसिद्ध केला.



मुकाम मुंबई.

एज्युकेशन सोसैटीचे छापखान्यांत छापिला.

सन १८६१.

अनुक्रमणिका.

ज्योतिःशास्त्र.

भाग पहिला.

भाग दुसरा.

भाग तिसरा.

अनुक्रमणिका.

भाग चवथा.

भाग पांचवा.

प्रस्तावना.

निरभ्र दिवशीं रात्रीं आकाशाकडे कांहीं वेळ पहात उभें राहिलें असतां, शोधक मनुष्यास चमत्कार वांटल्यावांचून राहत नाहीं. त्याच्या मनांत एकामागून एक असे नानाप्रकारचे प्रश्न उद्भवतात, कीं चंद्र हा काय पदार्थ आहे? तो रात्रीस कां प्रकाशतो? चांदण्या काय आहेत? त्या आपणापासून किती दूर आहेत? त्या काळोख्या रात्रीं अधिक कां दिसतात? आणि अशा प्रश्नांवर जीं मनुष्यास उत्तरें सुचत गेलीं त्या उत्तरांचा मोठमोठ्या विचारी, कल्पक, बुद्धिवान् लोकांत विचार होऊन जो तथ्यार्थ ठरला त्याचें नांव ज्योतिःशास्त्र. आतां हें स्पष्टच आहे कीं हें शास्त्र कधींही एकदम पूर्णावस्थेस यावयाचें नाहीं, व आलेंही नाहीं. जसजसा पुष्कळ लोकांचा ह्यावर विचार झाला; जसजसें पृथ्वीच्या अनेक भागांवर मनुष्याचें जाणेंयेणें विशेष घडूं लागलें; जसजशा यंत्रांच्या कल्पना व युक्ति निवाल्या; तसतसें हें शास्त्र पूर्णावस्थेस येत गेलें. ही गोष्ट हा पुढील ग्रंथ वाचला असतां, वाचणाऱ्याचे सहज लक्षांत येईल.

ज्योतिःशास्त्राचें ज्ञान झाल्यापासून मनास आनंद होतो, व ईश्वराचें अगाध चातुर्य व प्रभाव हीं समजतात, इतकेंच नाहीं; तर त्या ज्ञानापासून व्यवहारांतही बहुत फायदा आहे. मनुष्यास अनेक प्रकारचीं सुखें प्राप्त होण्यास कारणभूत जो व्यापार व उदीम, ते वाढण्यास नौकानयनाची कला पराकाष्ठेची आवश्यक आहे, व ती कला ज्योतिःशास्त्राची पूर्ण माहिती असल्यावांचून पूर्णावस्थेस येत नाहीं. अफाट दर्यांत गलबत चाललें असतां आपण पृथ्वीच्या कोणत्या भागीं आहों, व आपलें गलबत नीट वाटेने चाललें आहे किंवा नाहीं ह्याचा निर्णय करण्यास ज्योतिश्शास्त्रापासून फार साहाय्य होतें. ह्याच उद्देशाने विलायतेंत नाविक पंचांगांच्या लक्षावधी प्रती छापितात, व प्रत्येक गलबतावरील मुख्य अधिकाऱ्यापाशीं तीं पंचांगें असतात, व त्यांचा उपयोग त्यांस ठाऊक असतो.

प्रस्तावना.

ज्योतिःशास्त्राची उत्पत्ति फार प्राचीन काळीं आपल्या देशांत झाली असून, हल्लीं त्या शास्त्राची आमच्या लोकांतली माहिती युरोपियन लोकांच्या माहितीशीं ताडून पाहतां फारच थोडी आहे. ह्या देशांत ज्योतिःशास्त्रावर जीं कांहीं पुस्तकें आहेत तीं तीन चारशें वर्षांपूर्वीचीं असून, संस्कृत भाषेंत आहेत. आलीकडील तीन चारशें वर्षांत ह्या देशांत कोणीही आकाशांतील गोलांचे वेध घेऊन ज्योतिःशास्त्राविषयीं अधिक विचार केला नाहीं. **युरोपियन** लोकांनीं ह्या शास्त्रांत बहुत विचार व शोध करून हें शास्त्र फार पूर्णतेस आणिलें आहे. ज्या शास्त्राची जन्मभूमी हा आपला **हिंदुस्थानदेश** आहे त्या शास्त्राची साधारण माहिती देखील आपणास नसणें ही केवढी लाजेची गोष्ट आहे?

तर ज्योतिःशास्त्राची माहिती इतकी उपयुक्त असतां, मराठी भाषेंत त्या शास्त्राचीं फारच थोडीं पुस्तकें आहेत, आणि जीं आहेत तीं फारच संक्षिप्त आहेत, ह्यास्तव ह्या गोष्टीची न्यूनता दूर करण्याविषयीं स्वसामर्थ्यानुसार यत्न करावा, असें मनांत आणून **विलियम चेंबरस्** आणि **राबर्ट चेंबरस्** ह्या दोन ग्रहस्थानीं इंग्रजी भाषेंत छापून प्रसिद्ध केलेल्या ज्योतिःशास्त्राचें हें भाषांतर ग्रंथकर्त्यानें तयार केलें आहे.

सर जान हर्शल साहेबानें केलेल्या "**ज्योतिःशास्त्राचीं मूलतत्वें**" ह्या नांवाच्या इंग्रजी पुस्तकाच्या दुसऱ्या आवृत्तीच्या साहाय्यानें ह्या पुस्तकाचा पांचवा भाग आणि दुसऱ्या भागांतील कितीएक कलमें रचिलीं आहेत.

हा ग्रंथ लक्ष देऊन वाचला असतां, वाचणाऱ्यास ह्या शास्त्राच्या विषयाची सामान्य माहिती होईल, व तेणेंकरून ह्याविषयींची अधिक माहिती करून घेण्याची उत्कंठाही त्याच्या मनांत कदाचित् उद्भवेल अशी ग्रंथकर्त्याची आशा आहे, आणि ती आशा पूर्ण झाली असतां तो आपले श्रमाचें सार्थक झालें असें समजेल.

ज्योतिःशास्त्र.

---

१. खस्थ गोलांच्या माहितीचा संग्रह ज्यांत केला असतो, त्या शास्त्रास् ज्योतिःशास्त्र म्हणतात. ह्या शास्त्रांत पृथ्वी खस्थ गोलपैकींच एक गोल आहे, असें मानलें आहे.

२. वाचणाऱ्यांस ह्या विषयाची संगतवार माहिती व्हावी, म्हणून ह्या विषयाचे पुढें लिहिलेले पांच भाग करून प्रत्येक भागाचें निरनिराळें निरूपण केलें आहे.

भाग १ ला—खस्थ गोल साधारणपणें कसे दिसतात, हें ह्या भागांत सांगितलें आहे.

भाग २ रा—यंत्रसाधनानें सूक्ष्म वेध करण्याचा प्रकार, आणि खस्थ गोलांचीं वास्तविक स्थानें समजण्या करितां घेतलेल्या सूक्ष्म वेधांस जे संस्कार करावे लागतात, ते, ह्यांविषयीं ह्या भागांत सांगितलें आहे.

भाग ३ रा—खस्थ गोलांचीं अंतरें, आकार, महत्वें, आणि कक्षा, हीं भूमितीच्या किंवा गणिताच्या साहाय्यानें कशीं आणावीं, हें ह्या भागांत सांगितलें आहे.

भाग ४ था—खस्थ गोल आपआपल्या कक्षांत फिरण्यास कारणीभूत ज्या प्रेरणा किंवा व्यापार, त्या, व ते गोल ज्या नियमांनीं आपआपल्या कक्षांत फिरतात, ते नियम, आणि त्या नियमांवरून गणितानें त्यांच्या गति आणण्याचा प्रकार, ह्यांविषयीं ह्या भागांत सांगितलें आहे.

भाग ५ वा—अचल तारे आणि त्यांच्या प्रती, त्यांची वांटणी, त्यांचे भेद, ह्या विषयाचें निरूपण ह्या भागांत केलें आहे.

भाग पहिला

खस्थ पदार्थांचीं साधारण दर्शनें.

भचक्राचें दैनंदिन भ्रमण.

३. आकाशाकडे आपण पाहिलें असतां तेथें दिवसास **सूर्य** आणि रात्रीस **चंद्र** व तारे हे दृष्टीस पडतात. **सूर्या**कडे पाहिलें असतां तो आकाशांत क्षितिजाचे म्हणजे काळे धारेचे पूर्वेकडून वर येतांना आणि पश्चिमेकडे खालीं जातांना दिसतो. अशीच उगवण्या मावळ-ण्याची सतत गति **चंद्रा**सही दिसते, आणि आपण लक्ष्यपूर्वक कांहीं कालपर्यंत ताऱ्यांकडे पाहिलें, तर त्यांतही ह्याच प्रकारची गति दृष्टीस पडते. एकाद्या निरभ्र दिवशीं रात्रीं क्षितिजाचे पूर्वबिंदू जवळील एकादे प्रसिद्ध ताऱ्याकडे लक्ष्य देऊन पाहिलें तर असें दिसतें, कीं तो तारा सुमारें सहा तास पर्यंत वर वर येत असतो. नंतर तो पश्चिम क्षिति-जाकडे उतरूं लागून सुमारें सहा तासांनीं दिसेनासा होतो. दुसऱ्या दिवशीं रात्रीं त्याच ताऱ्याची वाट पहात उभें राहिलें तर असें दिसतें, कीं तोच तारा अदले दिवशीं रात्रीं ज्या वेळीं क्षितिजपूर्वबिंदूशीं आला होता, त्याच वेळेच्या सुमारें त्या बिंदूशीं येतो, व अदले दिवसाचे रात्री प्रमाणेंच आकाशांत वर वर येऊन खालीं खालीं जातो.

४. उदाहरणाकरितां आपण पूर्व बिंदूशीं उगवणारा एक तारा घेतला होता; पण तो सोडून दुसऱ्या कोठल्याही ताऱ्यांकडे आपण आपली दृष्टि लावली तरी असें दिसतें, कीं तेही तारे वरच्या ताऱ्या प्रमाणेंच सतत फिरतात, आपण जर आपली दृष्टि ईशान्येंतील कोण-त्यही एकादे स्थलीं लावून नुकताच उगवणारा एकादा तारा पाहिला तर असें दिसतें, कीं तो आकाशांत येतां येतां एका नियमित स्थला पर्यंत येतो आणि तेथून पश्चिमेकडे खालीं जातां जातां दिसेनासा होतो आणि प्रथमतः जेव्हां उगवतो तेव्हां पासून सुमारें चोवीस तासांनीं तोच तारा पूर्वेकडे दिसूं लागतो; परंतु हा तारा क्षितिज-पूर्वबिंदूंत उगवणारे ताऱ्यां प्रमाणें क्षितिजाचे वर बारा तास आणि

खालीं बारा तास राहत नाहीं. क्षितिजाचे वर बारांपेक्षां कांहीं अधिक वेळ, आणि क्षितिजाचे खालीं बारांपेक्षां कांहीं कमी वेळ राहतो. सारांश, ताऱ्याचा उदय जितका जितका उत्तरेस होतो, तितका तितका तो तारा क्षितिजाचे वरचे भागांत बारा तासां पेक्षां अधिक वेळ, आणि क्षितिजाचे खालचे भागांत बारा तासांपेक्षां कमी वेळ राहतो. आपण जर आपली दृष्टि उत्तर बिंदूकडेच लावली, आणि क्षितिजाचे थोडकासा वर असणारा एकादा तारा पाहिला, तर असें दिसतें, कीं तो तारा आकाशांत पहिले बारा तासांत वर वर येतो आणि दुसरे बारा तासांत खालीं खालीं जात क्षितिजाचे सन्निध पहिल्या बिंदूशीं जातो; तो क्षितिजाचे खालीं मुळींच जात नाहीं म्हणून तो तारा आपले नेहमीं दृष्टीस पडतो. ह्या प्रमाणेंच अस्तास न जाणाऱ्या ह्या ताऱ्याचे वर्तुलाकृति भ्रमणमार्गांत असणारे जे उत्तरेकडील तारे त्यांचेंही दैनंदिन भ्रमण क्षितिजाचे वरच होतें*.

५. ह्या ताऱ्यांचे भ्रमणमार्गांकडे पाहूं लागलें, तर ह्यांचे मध्यस्थानीं असणारा आकाशांत एक बिंदु आपले दृष्टीस पडतो. ह्या बिंदूशीं जर एकादा तारा असता तर तो अगदीं स्थिर असता. ह्या बिंदूचे जवळचे तारे फार लहान लहान वर्तुळांत फिरतात म्हणजे त्यांचें फिरणें फार लहान क्षेत्रांत होतें, हें स्पष्ट आहे. हा स्थिर बिंदु आकाशाचे उत्तरभागीं आहे म्हणून ह्यास खोत्तरध्रुव म्हणजे आकाशाचा उत्तरध्रुव म्हणतात. हा बिंदु ज्योतिःशास्त्रांत वेध घेण्यास बहुत उपयोगीं पडतो. ह्या बिंदूंत तर कोणताही तारा

* हें कलम आणि पुढील कलमें ह्यांत तारे दिवसासही दिसतात असें कल्पिलें आहे. जों पर्यंत सूर्य वर आहे तों पर्यंत नुसत्या डोळ्यांनीं कोणताही तारा दिसत नाहीं. तथापि सर्व तारे आपआपले स्थानीं असतात व सूर्याच्या तेजाच्या अतिशयानें इतर खस्थ पदार्थ बकृत करून दिसेनासे होतात. तरी चांगल्या दुर्बिणीच्या योगानें सूर्याचे अति सन्निध असणाऱ्या ताऱ्यां खेरीज इतर सर्व निरभ्र दिवशीं पहातां येतात. खोल विहिरी आणि खाणी ह्यांचे तळापासून तेथच्या मनुष्यांनीं आपल्या डोकीचे वर आलेले तारे दिवसास पाहिले आहेत. तसेंच जेव्हां चंद्र सूर्यापासून बऱ्याच अंतरावर असतो, तेव्हां तोही दिवसास दिसतो.

दिसत नाहीं; तरी ह्याचे जवळ फार चमकणारा एक तारा दिसतो; त्यास ध्रुवतारा असें म्हणतात.

६. आतां जर आपण आग्नेयीस उगवणारे ताऱ्यांकडे पाहूं लागलों, तर असें दिसतें कीं इतर ताऱ्यां प्रमाणेंच ह्या ताऱ्यांस उगवल्या पासून पुनः उगवत तोंपर्यंत चोवीस तास लागतात; परंतु हे तारे बारा तासांपेक्षां कांहीं कमी वेळ क्षितिजाचे वर असतात; आणि बारा तासां पेक्षां कांहीं अधिक वेळ क्षितिजाचे खालीं असतात. आकाशांत वर येत असतां हे तारे लवकर आपले अत्युच्च स्थानीं येऊन खालीं उतरूं लागतात, जर आपण दक्षिणबिंदूकडे पाहूं लागलों तर असें दिसतें कीं तिकडील तारा उगवून लागलाच मावळतो आणि चोवीस तासांनीं पुनः उगवून पूर्वी प्रमाणेंच फार थोडावेळ क्षितिजावर राहतो. ह्यावरून असें अनुमान निघतें, कीं असे कितीएक तारे असावे कीं जे आपल्या दृष्टीस मुळींच पडत नाहींत; आणि ते आपल्या दृष्टीस पडणाऱ्या ताऱ्यां प्रमाणेंच वर्तुलाकृति भ्रमण करीत असतील; आणि क्षितीजाचे खालीं असा एक बिंदु असावा कीं जो त्यांचे वर्तुलाकृति भ्रमण मार्गाचा मध्य असेल. हीं अनुमानें प्रत्यक्ष प्रमाणानें खरीं झालीं आहेत, असें आपणास पुढें दिसून येईल. आकाशाच्या दक्षिण भागांतील ताऱ्यांच्या भ्रमण मार्गाचे मध्यबिंदूस खदक्षिणध्रुव म्हणजे आकाशाचा दक्षिणध्रुव म्हणतात. एका ध्रुवा पासून दुसरे ध्रुवापर्यंत, म्हणजे क्षितिजाचे वरचे उत्तर स्थिर बिंदू पासून क्षितिजाचे खालचे दक्षिण स्थिर बिंदू पर्यंत कल्पिलेल्या रेषेस आकाशाचा आंस म्हणतात.

७. ताऱ्याचे गमन मार्गाचा विचार करितांना जसा आपण एक एक तारा पाहिला, तसें न करितां, आपण आपली दृष्टि दोन ताऱ्यांचे पुंजाकडे, तीन ताऱ्यांचे पुंजाकडे, किंवा कोणतेही एकादे पुंजाकडे, लावली तर असें दिसतें, कीं ते सर्व एका मेळींत भ्रमण करून सदा एकमेका पासून आप आपलीं अंतरें सारखीं राखितात; ह्या मुळेंच त्यांच्या आकाशांतील प्रदक्षिणा सारखे कालांत होतात. वस्तुतः हे

सर्व भचक्र एका ध्रुवा पासून दुसऱ्या ध्रुवा पर्यंत जी रेषा म्हणजे आंस त्या भोंवतीं फिरतें. एका आंसा भोंवतीं सदां व हळू हळू फिरणाऱ्या आणि सुमारें चोवीस तासांत एक पूर्ण प्रदक्षिणा करणाऱ्या अशा एकाद्या पोकळ गोलांत बसविल्या प्रमाणें ह्या ताऱ्यांची स्थिति आहे. आतां एक ध्रुव क्षितिजा पासून बराच वर आहे आणि दुसरा बराच खालीं आहे, म्हणून हें उघड आहे, कीं ह्या भचक्राचें भ्रमण तिर्यक् दिशेनें होतें. हें गमन जर क्षितिज समांतर दिशेनें होतें, तर एक ध्रुव आकाशांत आपले डोकीवर असता, आणि दुसरा त्याच्या समोर आपले पायांखालीं असता, आणि हें भ्रमण जर जसें जमिनीवर चाक फिरतें तसें क्षितिजास लंबदिशेनें होतें, तर एक ध्रुव क्षितिजाचे बराबर उत्तर बिंदूंत असता आणि दुसरा क्षितिजाचे बराबर दक्षिण बिंदूंत असता; परंतु हें भ्रमण ह्या दोन दिशांचे मध्यें होतें.

८. आकाशाचा आंस आणि ध्रुव ह्यांचा अर्थ सांगितला. आतां विषुववृत्त म्हणजे काय आणि त्याची पातळी म्हणजे काय हें सांगतों. आंसास लंबानें छेदून भचक्राचें उत्तरार्ध गोल आणि दक्षिणार्ध गोल असे दोन सारखे विभाग करणारी जी आकाशांतील एक कल्पित पातळी तिला विषुववृत्ताची पातळी म्हणतात. ह्या पातळीनें झालेले भचक्राचे जे सारखे दोन विभाग त्यांस अनुक्रमें नाक्षत्र उत्तरार्ध गोल आणि नाक्षत्र दक्षिणार्ध गोल असें म्हणतात आणि आकाशा भोंवतीं काढलेली जी ह्या दोन विभागांची मर्यादा करणारी रेषा तिला विषुववृत्त म्हणतात.

९. जसें ह्या आकृतींत अ ही पृथ्वी आहे. प हा खोत्तरध्रुव आहे. हा आपणास नेहेमीं दिसतो. इ हा खदक्षिणध्रुव आहे. हा आपणास (उत्तर गोलार्धांत राहणाऱ्यांस) कधींही दिसत नाहीं. प इ ही रेषा आकाशाचा आंस आहे. हा तिर्कस आहे. ह्या सभोंवतें भचक्र फिरतें. पे क हें विषुववृत्त आहे.



हें सर्व खगोलाचे पे प क आणि पे इ क असे दोन सारखे विभाग

करितें. पे प क ह्या वरचे अर्धांत जे तारे आहेत, ते नाक्षत्र उत्तरार्ध गोलांतील आहेत; आणि पे ड क ह्या अर्धांत जे आहेत, ते नाक्षत्र दक्षिणार्ध गोलांतील आहेत.

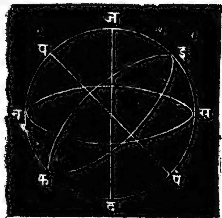
१०. वर सांगितलेल्या खेरीज आणखी पुष्कळ बिंदु, रेषा, आणि वर्तुळें आकाशांत कल्पितात, व कृत्रिम खगोलांवर व त्यांच्या नकाशांत वरील आकृतींतल्या प्रमाणें ते बिंदु, त्या रेषा वगैरे खरोखरी काढिल्याही असतात.

११. मागें क्षितिज ह्या शब्दाचा अर्थ सांगितलाच आहे. क्षितिज मानण्याचें प्रयोजन असें आहे कीं जर ही पृथ्वी स्फटिका सारखी पारदर्शक असती, तर सर्व भचक्र एकदम आपले दृष्टीस पडतें व शांत सरोवरांत कधीं कधीं चंद्र आणि तारे जसे दिसतात, तसा आकाशाचा खालचा भाग दिसता, आकाशांतील उत्तर भागाकडे पाहूं लागलें म्हणजे जसा उत्तरध्रुव आणि नाक्षत्र उत्तरार्ध गोल आपणास दिसतो, तसाच दक्षिणध्रुव आणि नाक्षत्र दक्षिणार्ध गोल, आकाशांतील दक्षिण भागाकडे पाहिलें असतां, दिसता. परंतु पृथ्वींतून आरपार पलीकडे दिसत नाहीं; ह्यामुळें खगोलाचा अर्धा भाग मात्र एका खेपेस दिसतो, सर्वगोल एकदम कधींही दिसत नाहीं. आपणास जे तारे दिसतात, ते क्षितिजाचे (म्हणजे काळे धारेचे) वर आहेत, असें म्हणतात. सूर्य, चंद्र, अथवा कोणताही तारा ह्यांचें मावळणें म्हणजे त्यांचें क्षितिजाचे खालीं जाणें होय, आणि ह्यांचें उगवणें म्हणजे त्यांचें क्षितिजाचे वर येणें होय.

१२. आपले डोकीवर समोर जो आकाशांतील बिंदु म्हणजे आकाशाचें अत्युच्चस्थान त्यास खस्वस्तिक म्हणतात. खगोलाचा जो दृश्यभाग त्याचा हा ध्रुव: म्हणजे मध्यबिंदु आहे. आपणास ह्या पृथ्वींतून पलीकडे पाहतां येतें तर समोर आपले पायांखालीं जो बिंदु आपणास दिसता, त्यास अधःस्वस्तिक म्हणतात. हा खगोलाचे खालच्या अदृश्य भागाचा ध्रुव म्हणजे मध्यबिंदु आहे. तारामंडलाचे विषुववृत्तानें जसे दोन विभाग झाले आहेत, तसे क्षितिजानें त्याचे वरचा भाग म्हणजे दृश्य भाग, आणि खालचा भाग म्हणजे अदृश्य

भाग, असे दोन सारखे विभाग झाले आहेत, विषुववृत्तानें जे विभाग झाले आहेत, त्यांतील तारे आपआपले विभागांतच नेहमीं असतात; पण क्षितिजानें जे विभाग झाले आहेत त्यांविषयीं अशी गोष्ट नाहीं; तर बहुतेक तरि अर्धदिवस पर्यंत वरचे विभागांत असतात आणि अर्ध-दिवस पर्यंत खालचे विभागांत असतात. परंतु जर आकाशाचा उत्तर ध्रुव वर येतां येतां खस्वस्तिकीं आला आणि त्याचे समूरचा दक्षिण ध्रुव खालीं जातां जातां अधःस्वस्तिकीं गेला, म्हणजे खगोलाचा आंस क्षितिजावर लंब होऊन त्या भोंवतीं भचक्र प्रदक्षिणा करूं लागलें, तर क्षितिज आणि विषुववृत्त हीं एकच होतील. कांकीं वरचे अर्ध गोलांतील तारे खालीं न जातां किंवा वर न येतां क्षितिज समांतर पातळ्यांत फिरूं लागतील, ह्यामुळें ते सदां आपणास दिसतील, म्हणजे क्षितिजाचे वर असतील; आणि खालचे अर्धगोलांतील तारे सदां अदृश्य प्रदेशांत फिरूं लागतील, म्हणजे क्षितिजाचे खालीं असतील.

१३. आकाशांत आणखी एक वृत्त कल्पितात. त्याचें नांव याम्योत्तर वृत्त होय. विषुववृत्त व क्षितिज ह्यांप्रमाणेंच हें भचक्रास विभागून त्याचे दोन अर्धगोल करितें, परंतु विषुववृत्त व क्षितिज हीं ज्या दिशांनीं भचक्रास दुभागितात, त्यांहून भिन्न दिशेनें हें वृत्त भचक्रास दुभागितें. कांकीं दोहों वृत्तांसही लंब असें हें वृत्त काढिलें असतें. हें वृत्त क्षितिजाचे उत्तर बिंदूतून वरतें खगोलाचे उत्तर ध्रुवांतून, खस्वस्तिकांतून, खालतें क्षितिजाचे दक्षिण बिंदूतून, खगोलाचे दक्षिण ध्रुवांतून आणि शेवटीं अधःस्वस्तिकांतून जातें. म्हणून हें दक्षिणोत्तर असून लंब असतें. जसें ह्या आकृतींत **प पे** हा खगोलाचा आंस आहे. ह्याचीं टोकें उत्तर ध्रुवांत आणि दक्षिण ध्रुवांत आहेत. **इ क** हें खस्थ विषुववृत्त आहे. **न स** हें क्षितिज आहे. ह्याचे उत्तर दक्षिण बिंदु **न** आणि **स** आहेत, **ज** हें खस्वस्तिक आहे, आणि **द** हें अधः-



स्वस्तिक आहे: तर न्र, प, ज, स, पे, द ह्या बिंदूंतून जाणारें जें वर्तुल न प ज इ स पे द क तें याम्योत्तर आहे.

१४. विषुववृत्त आंसास लंबानें छेदून भचक्राचे जसें दोन सारखे विभाग करितें; तसेंच याम्योत्तर भचक्रास ध्रुवांमधून कापून दोन सारखे विभाग करितें; ह्यामुळें आंस याम्योत्तराचे पातळींत असतो आणि तारे गमन करितांना प्रत्येक प्रदक्षिणेंत हें वृत्त दोनदां उल्लंघितात. तार्‍यांस एक पूर्ण प्रदक्षिणा करण्यास एक दिवस लागतो. म्हणून याम्योत्तर उल्लंघिल्यापासून पुनः तें उल्लंघण्यास त्यांस अर्धा दिवस लागतो. जसें ह्या आकृतींत क हा तारा प पे आंसाभोंवतीं ए ब क ह्या वर्तुलांत फिरत आहे तर त्यास क स्थलापासून जाऊन पुनः क स्थलीं येण्यास एक दिवस लागतो आणि ए स्थलापासून ब स्थलीं जाण्यास अर्धा दिवस लागतो. आणि ब स्थलापासून ए स्थलीं येण्यास अर्धा दिवस लागतो. कांकीं याम्योत्तर ए ब क ह्या वर्तुलाचे दोन विभाग बराबर करितें आणि तार्‍याची गति सदां एकसारखी असते. आतां याम्योत्तर दक्षिणेकडे व उत्तरेकडे आहे म्हणून सर्व तारे हें वृत्त उल्लंघितांना खस्वस्तिकाचे केवळ दक्षिणेस किंवा उत्तरेस असतात. जसें वरचे याम्योत्तरांतील क तार्‍याचा जो गमनमार्ग बिंदु ए तो खस्वस्तिकाचे केवळ दक्षिणेस आहे आणि खालचे याम्योत्तरांतील जो गमनमार्ग बिंदु ब तो अधःस्वस्तिकाचे केवळ उत्तरेस आहे.



१५. कोणताही एकादा तारा पराकाष्ठा क्षितिजाचे वर किती येतो आणि खालीं किती जातो हें याम्योत्तरानें समजतें. तारा याम्योत्तर उल्लंघीत असतां आपले भ्रमण मार्गाचे अति उच्चस्थानीं किंवा अति नीच स्थानीं असतो. जसें क तारा आकाशांत ज्या अति उच्चस्थानीं येतो तो ए बिंदु आहे आणि ज्या अति नीचस्थानीं जातो तो ब बिंदु आहे

याम्योत्तर क्षितिजावर आणि विषुववृत्तावरही जर लंब नसतें म्हणजे भचक्रभ्रमणाचे सर्व साधारण दिशेवर जर लंब नसतें, तर ह्या वृत्ताचे अंगीं वर सांगितलेला धर्म न येता. ह्याकरितां सूर्य अथवा चंद्र याम्योत्तराचें उल्लंघन करितो, तेव्हां आपण समजतों, कीं तो आपले अति उच्चस्थानीं आला आणि तो आतां लवकरच उतरूं लागेल; जर तो याम्योत्तराचे पूर्वेस बराच दूर आहे (म्हणजे उदाहरणार्थ ईशान्येस आहे) तर आपण समजतों, कीं तो उगवत आहे. आणि कांहीं तासपर्यंत वर वर येईल. तसेंच तो नैऋत्येस दिसल्यास तो अत्युच्चस्थानापासून फार खालीं आहे असें समजावें. आणखी आपण असें समजतों कीं सूर्य आपले अति उच्चस्थानीं आल्यावर सुमारें बारा तासांनीं अति नीचस्थानीं जातो. म्हणून जेव्हां तारा वर चढतांना थांबून खालीं उतरूं लागतो, तेव्हां तो कोठें असतो हें पाहिल्यानें आकाशांतील याम्योत्तर रेषा आपणास काढतां येईल. मग हिचे योगानें अर्थात् दक्षिणोत्तर बिंदूची दिशा कळेल आणि ती होका यंत्राप्रमाणें उपयोगीं पडेल. याम्योत्तरवृत्तानें ताऱ्यांचा ऊर्ध्वगमनमार्ग आणि अधोगमनमार्ग ह्यांचे सारखे दोन विभाग होतात. खस्थ पदार्थाचें उगवणें आणि मावळणें ह्यांचे मध्यें जो बिंदु तो त्याचें याम्योत्तर उल्लंघण्याचें स्थान होय.

सूर्य, चंद्र आणि ग्रह.

१६. सर्व भचक्र आंसाभोंवतें भ्रमण करितें, म्हणून प्रत्येक तारा इतर ताऱ्यांच्या संबंधानें पाहिला असतां, नेहेमीं एकाच स्थानीं दिसतो; परंतु त्यांत असे कांहीं तारे आहेत, कीं ज्यांस हा सामान्य नियम लागत नाहीं; आणि ह्या अपवादांच्या योगानें तारामंडला विषयीं कितीएक चमत्कारिक गोष्टी कळून आल्या आहेत. हजारों तारे आप आपल्या नियमित स्थलांतच असतां कांहीं तारे असे आढळतात, कीं ते आकाशांत नित्याच्या प्रदक्षिणा* करीत असून इतर ताऱ्यांच्या मधील जीं आपलीं स्थानें तीं बदलतात म्हणजे ते कधीं एका ताऱ्याजवळ कधीं दुसऱ्या ताऱ्या जवळ असे अलीकडे पलीकडे

होतांना दिसतात. अशा ताऱ्यांस चल तारे म्हणतात आणि जे आप आपल्याच स्थानीं नेहमीं असतात, त्यांस अचल तारे म्हणतात. हे अचल तारे चल ताऱ्यांची दुसरी गति समजण्यास उपयोगी पडतात.

१७. उदाहरणार्थ चंद्र घेतला, तर तो चल तारा आहे असें लवकर आपले पाहण्यांत येतें. जरी तो आकाशांत वर्तुलगतीनें नित्य फिरतो, म्हणजे उगवणें, याम्योत्तर उल्लंघणें, मावळणें आणि पुनः उगवणें हीं सुमारें चोवीस तासांत करितो, तरी तो ज्या ताऱ्यांमध्यें असेल त्यांमध्यें त्याजकडे आपण कांहीं वेळ पाहत उभे राहिलों, तर असें दिसतें, कीं तो त्या ताऱ्यांमधील आपलें स्थान वरचे वर बदलितो. एका दिवशीं रात्रीं आपण त्यास एका ताऱ्याजवळ पाहतों आणि दुसऱ्याच दिवशीं रात्रीं जों बघावें तों तो त्या ताऱ्यापासून बराच अंतरावर गेलेला दिसतो, तो आपलें स्थान बदलून दुसऱ्या स्थानीं जातो, हें थोडके वेळांत देखील आपणास समजतें. ह्या वरून असें सिद्ध होतें, कीं भचक्रा बरोबर नित्याचें भ्रमण करून तो आकाशांत दुसरें एक भ्रमण करितो. हें भ्रमण भचक्राच्या भ्रमणाचे विपरीत दिशेस होतें. म्हणजे,—चंद्र हा अचल ताऱ्यां बरोबर फिरून कांहींसा त्यांच्या मागें राहतो म्हणून तो प्रतिदिवशीं आपलें स्थान बदलितो. एका तासांत तो एकादे प्रसिद्ध ताऱ्याचे आजू बाजूस असला, तर दुसरे तासांत त्या ताऱ्यापासून सुमारें आपले रुंदी इतका मागें पडतो. हें विलोम गमन महिनाभर दर रोज पाहत गेलें तर असें कळतें कीं ह्या कालांत ताऱ्यां मधून चंद्राची एक पूर्ण प्रदक्षिणा होते आणि तो महिन्याचे आरंभीं ज्या ताऱ्यांत होता त्याच ताऱ्यांत अथवा त्याचे सुमारास महिन्याचे शेवटीं येतो. हाच त्याचे गमनाचा सामान्य नियम आहे. सारांश, चंद्र हा आपले नित्य गमना खेरीज ताऱ्यां मधून विलोम गतीनें म्हणजे पश्चिमे कडून पूर्वेकडे जाण्यानें मध्यम मानानें सुमारें सत्तावीस दिवस आणि आठ तास इतक्या कालांत मासिक प्रदक्षिणा करितो.

१८. आणखी असें पाहण्यांत आलें, आहे, कीं सूर्यही ताऱ्यांबरोबर भ्रमन करून ताऱ्यांमधूनही गमन करितो. हें चंद्रा विषयीं जसें आपण पाहिलें तसें सूर्या विषयीं प्रत्यक्ष पाहतां येत नाहीं. कांकीं सूर्याचा प्रकाश फार उज्वल असल्यामुळें तो असतां त्या जवळून कोणताही तारा आपणास दिसत नाहीं ह्मणून तो ताऱ्यांमध्यें आपलें स्थान वरचे वर बदलितो हें प्रत्यक्ष प्रमाणानें कळत नाहीं; तथापि ही गोष्ट अन्य प्रमाणानें सिद्ध होते.

१९. ताऱ्यांस एक पूर्ण फेरा करण्यास म्हणजे वरचें याम्योत्तर उलंघिल्या पासून पुनः तेंच उलंघण्यास जो काल लागतो तो सुमारें चोवीस तास आहे, असें मागें सांगितलें; परंतु तो काल बरोबर म्हटलें असतां चोवीस तासांहून थोडासा कमी असतो. तो काल २३ तास ५६ मिन्युटें ४.०९ सेकंद इतका आहे. परंतु २४ तासांनीं आपला दिवस म्हणजे प्रकाश आणि आंधार ह्यांची एक आवृत्ति होते व ही आवृत्ति सूर्याचे आधीन आहे हें स्पष्टच आहे. म्हणून आकशा भोंवतें सूर्याचें नित्य भ्रमण २४ तासांनीं होतें आणि ताऱ्यांचें नित्य भ्रमण २४ तासांत ४ मिन्युटें कमी इतक्या कालानें होतें. जर सूर्य ताऱ्यांमध्यें एकाच स्थानीं सदां असता तर त्याचे नित्य भ्रमणाचा काल त्यांचे नित्य भ्रमणाचे काला बराबर असता म्हणजे सौर दिवस नाक्षत्र दिवसा बराबर असता; परंतु सौर दिवस नाक्षत्र दिवसा पेक्षां अधिक आहे म्हणून असें सिद्ध होतें, कीं सूर्य हा चंद्रा प्रमाणें दररोज ताऱ्यांच्या मागें मागें पडतो म्हणजे तो नक्षत्रा मधून विलोम गतीनें भ्रमण करितो.

२०. नाक्षत्र दिवसाशीं सौर दिवसाची तुलना सहज करितां येते. एकादा अचल तारा आपले भ्रमणांतील एकच बिंदु अनुक्रमें दोन दिवस उल्लंघितांना पाहिल्यानें नाक्षत्र दिवसाचें मान काढितां येतें. तो तारा आज केव्हां उगवतो व उद्यां केव्हां उगवतो, हें आपण पहावें अथवा अनुक्रमें त्याचे दोन अस्तकाल, याम्योत्तरोल्लंघन काल, अथवा कोणत्याही स्थलाचे उल्लंघन काल पहावे. आतां तो तारा केव्हां अस्तास जातो

हें आपण पाहिलें (आणि क्षितिज निरभ्र व स्वच्छ आहे तर हें अगदीं बराबर दिसण्यास कांहीं अडचण नाहीं.) आतां जर आपण एकादा तारा बराबर मध्य रात्रीस अस्तास जातांना पाहिला आणि दुसरे दिवशीं रात्रीं तो तारा अस्तास केव्हां जातो हें पाहूं लागलों तर असें दिसतें, कीं तो मध्य रात्रीचे म्हणजे बारा वाजण्याचे अगोदर चार मिन्युटें अस्तास जातो. तिसरे दिवशीं रात्रीं बारा वाजण्याचे अगोदर आठ मिन्युटें, व चवथे दिवशीं रात्रीं बारा वाजण्याचे अगोदर बारा मिन्युटें तो अस्तास जातांना दिसेल, आणि ह्या प्रमाणेंच पुढेंही प्रत्येक दिवशीं चार चार मिन्युटें अधीं तो अस्तास जाईल. आपणास तो तारा प्रथम जेव्हां दिसला तेव्हां पासून तीन महिन्यांनीं तो तारा संध्याकाळचे सहा वाजतां अस्तास जातांना दिसेल. सहा महिन्यांनीं तो दिवसास दोन प्रहरीं अस्तास जाऊन मध्य रात्रीं उगवतांना दिसेल आणि वर्ष झाल्यावर तो पुनः मध्य रात्रीं मावळतांना दिसेल. आतां मध्य रात्रीं **सूर्य** खालचे याम्योत्तर उल्लंघीत असतो. व एका मध्य रात्री पासून दुसरे मध्य रात्री पर्यंत **सूर्य** आकाशांत एक प्रदक्षिणा करितो आणि एवढयाच कालांत म्हणजे एका मध्य रात्री पासून दुसरे मध्य रात्री पर्यंत नक्षत्रें आकाशांत एक प्रदक्षिणा करून थोडिशीं पुढें जातात. ह्यामुळें असें घडतें, कीं नक्षत्रें **सूर्यास** मागें टाकून पुढें जातात अथवा **सूर्य** नक्षत्रां मधून उलटा जात जात एका वर्षांत तो आकाशांत उलटी प्रदक्षिणा करितो. प्रत्येक रात्रींतील चार मिन्युटांचा भेद एका वर्षांत एका दिवसा इतका होतो. ह्यामुळें **सूर्याचे** ३६५ उदय झाले असतां नक्षत्रांचे ३६६ उदय होतील. वर्षाचे भिन्न भिन्न कालीं नक्षत्रें, दिवस व रात्र ह्यांच्या भिन्न भिन्न वेळीं उदय पावतात. ह्यांचेंही कारण हेंच आहे. पाहण्याची संवय करून आपण जर एकादा नक्षत्रपुंज ध्यानांत ठेविला, तर आपणास असें दिसतें, कीं जर त्यांतील तारे **अप्रेल** महिन्यांत रात्रीं पाहटेचे चार वाजतां उदय पावत असले तर तेच तारे **जुलई** महिन्यांत रात्रीं अवशींचे आठ वाजतांच उगवतात. म्हणून संध्याकाळीं एका नियमित

वेळीं आपण हें भचक्र पाहत गेलों, तर वर्षाचे भिन्न भिन्न कालीं नक्षत्रें भिन्न भिन्न स्थानीं दिसतात. जसें सप्तंबर महिन्याचे पहिले तारिखेस रात्रीचे दहा वाजतां आपण आकाशाकडे दृष्टि देऊन नक्षत्रांचे भिन्न भिन्न पुंज कोठें कोठें आहेत हें पाहून ठेविलें आणि दोन महिन्यांनीं ह्मणजे नोवेंबराचे पहिले तारखेस रात्रीं आकाशाकडे पाहूं लागलों, तर असें दिसतें, कीं पूर्वीं दहा वाजतां आकाशांत जे नक्षत्रपुंज जेथें पाहिले होते, ते पुंज सहा वाजतां तेथें आहेत. आणि दहा वाजतां त्या पुंजांचे जागीं नवेच पुंज आले आहेत.

२९. भचक्र स्वतः नित्य भ्रमण करीत असतां त्या भचक्रा भोंवतीं विलोम गतीनें सूर्य आपलें वार्षिक भ्रमण कसा करितो हें वर सांगितलें; आतां, त्याचे गमनांत जो दुसरा एक विशेष प्रकार आहे त्याविषयीं आपण विचार करूं. आपण जर पृथ्वीच्या एकाच जागीं सदां राहिलों, तर असें पाहण्यांत येतें, कीं प्रत्येक तारा क्षितिजाचे एकाच स्थलीं उगवतो, आकाशांत एकाच स्थला पर्यंत सदां वर येतो, आणि पश्चिम क्षितिजाचे एकाच नियमित स्थलीं सदां मावळतो. आजचे रात्रीं जर एकादा तारा बराबर पूर्वेस उगवला, तर तो दर रोज रात्रीं पूर्वेसच उगवेल. जर एकादा तारा एकादे वेळीं आग्नेयीस उगवतांना दिसला, तर आपण असें खचीत समजावें, कीं तो सदां आग्नेयीसच उगवेल, आणि नैर्ऋत्येस मावळेल; आणि जों पर्यंत आपण एकाच ठिकाणाहून पाहत आहों तों पर्यंत त्याचे गमनाचा अत्युच्च बिंदुही नेहमीं एकच राहील आणि क्षितिजाचे वर असण्याचा त्याचा कालही नेहमीं एकच असेल. वर्षाचे भिन्न भिन्न कालांमुळें किंवा कांहीं वर्षें गेल्यामुळें नक्षत्रां पैकीं कोणत्याही नक्षत्राचे क्षितिजांतील उगवण्या मावळण्याचे बिंदु, त्याचा आकाशांतील गमनाचा अत्युच्च बिंदु आणि क्षितिजाचे वर असण्याचा काल हीं बदलणार नाहींत; परंतु सूर्या विषयीं पाहूं गेलों तर हीं सर्व बदलतात; तो क्षितिजाचे एकाच स्थानीं सदां उगवत नाहीं; त्याचें आकाशांतील अत्युच्च स्थान सदा एकच असत नाहीं, आणि तो क्षितिजाचे वर सदां सारखा वेळ

2

असत नाहीं. ज्यास आपण उन्हाळा म्हणतों, तो सूर्य बारा तासां पेक्षां अधिक वेळ क्षितिजाचे वर असल्यामुळें आणि दिवसाचे दोन प्रहरीं आकाशांत फार वर असल्यामुळें होतो; ह्याकरितां, त्या दिवसांत सूर्याची उष्णता व प्रकाश हीं अधिक काल पर्यंत राहतात व अधिक तीव्र असतात; तसेंच सूर्य बारां पेक्षां कमी तास क्षितिजाचे वर असल्यामुळें आणि दिवसाचे दोन प्रहरीं देखील आकाशांत तो फारसा वर न आल्या मुळें हिवाळा होतो. तसेंच त्याचे उगवण्या मावळण्याचे बिंदु कितीएक दिवस नेहमीं पाहत गेल्यास असें दिसेल, कीं तो सर्वदा क्षितिजाचे एका बिंदूशीं उगवत नाहीं व एकाच बिंदूशीं मावळत नाहीं; तर त्याचे उदयास्तबिंदु दर रोज चळत असतात.

२२. उदाहरण. मार्चाचे २१ वे तारिखेस पाहिलें असतां असें दिसतें, कीं त्या दिवशीं सूर्य बराबर पूर्वेस उगवतो आणि आकाशांत भ्रमण करून बराबर पश्चिमेस मावळतो. थोडे दिवस लोटल्यावर पुनः पाहिल्यास असें दिसतें, कीं त्याचा उदय बराबर पूर्वेस होत नाहीं तर पूर्वेच्या कांहींसा उत्तरेस होतो आणि दिवसानुदिवस त्याचा उदयबिंदु पूर्वेच्या अधिकाधिक उत्तरेस होत जातो, आणि अस्तही पश्चिमेच्या तितकाच उत्तरेस होत जातो. ह्याप्रमाणें उदयास्तबिंदु तीन महिने पर्यंत, म्हणजे जूनचे २१ वे तारिखे पर्यंत दर रोज उत्तरेकडे अधिक अधिक सरत जातात. आणि त्या दिवशीं उत्तरे कडील चरम मर्यादा पावून ते पुढें सरावयाचे बंद होतात. ह्या दिवशीं वर्षातील इतर दिवसां पेक्षां अधिक काल क्षितिजावर सूर्य असतो. म्हणून ह्या दिवसाचें मान सर्व दिवसांत अत्यंत मोठें असतें. पूर्व आणि उत्तर ह्यांचे मधील एकंदर अंतराचे सुमारें चतुर्थांशावर ह्या दिवशीं सूर्योदय पूर्व बिंदूच्या उत्तरेस होतो; म्हणजे अर्थातच सूर्योदय ईशान्य बिंदु आणि पूर्व बिंदु ह्यांचे मध्यमार्गी

होतो, आणि सूर्यास्त वायव्य बिंदु व पश्चिम बिंदु ह्यांचे मध्यभागी होतो. जसें ह्या आकृतींत काढलेलें, वर्तुळ क्षितिज आहे आणि न, स, इ, व, हे अनुक्रमें उत्तर, दक्षिण, पूर्व, पश्चिम, ह्या दिशांचे बिंदु आहेत. मार्चाचे २१ वे तारिखेस सूर्य इ ह्या बिंदूंत उगवतो आणि व बिंदूंत मावळतो; कारण ह्या दिवशीं तो विषुववृत्तावर असतो.

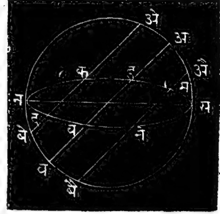


ह्या दिवसानंतर सूर्याचा उदय आणि अस्त क्रमा क्रमानें इ व ह्या रेषेचे, म्हणजे पूर्वापर रेषेचे उत्तरेस होत जातात आणि जूनचे २१ वे तारिखेस सूर्योदय अ बिंदूंत होतो, हा बिंदु इ पासून सुमारें एका चतुर्थांशावर आणि न पासून सुमारें तीन चतुर्थांशावर आहे आणि सूर्यास्त ब बिंदूंत होतो. आतां ह्या चरम मर्यादेवर पोंचला न पोंचला कीं तो मागें मागें फिरतो व तेव्हांपासून म्हणजे जून महिन्याचे २१ वे तारखे पुढें त्याचे (सूर्याचे) उदयास्त बिंदु पूर्वापर रेषेकडे उलटे सरत सरत सप्तंबर महिन्याचे २१ वे तारखेस ते अगदीं त्या रेषेंत येऊन मिळतात, मग मार्चाचे २१ वे तारखे प्रमाणें सूर्य ह्या दिवशीं बराबर पूर्वेस उगवतो आणि बराबर पश्चिमेस मावळतो. ह्यावरून असें झालें, कीं पूर्वापर रेषेंतील उदयास्त बिंदु सोडल्या पासून त्याच बिंदूंत पुनः सूर्य यावयास सहा महिने लागतात व ह्या सहा महिन्यांत म्हणजे मार्चाच्या २१ तारखेपासून सप्तंबरच्या २१ वे तारखेपर्यंत तो उत्तर गोलार्धांत असतो. आतां आपण आणखी सूर्याकडे पाहत गेलों, तर आपणास असें दिसेल कीं तो सप्तंबराच्या २१ तारखे पुढें पूर्वापर रेषेचे दक्षिणेकडे उदयास्त पावतो. म्हणजे तो पूर्व बिंदूचे कांहींसा दक्षिणेस उगवतो आणि पश्चिम बिंदूच्या कांहींसा दक्षिणेस मावळतो; व ह्या प्रमाणें दिसेंबराचे २१ वे तारखे पर्यंत तो पूर्वापर रेषेचे अधिक अधिक दक्षिणे कडे उदयास्त पावतो. ह्या दिवशीं वर्षांतील इतर दिवसांचे पेक्षां सूर्य क्षितिजावर कमी वेळ असतो,

म्हणून ह्या दिवसांचें मान अत्यंत लहान असतें. ह्या दिवशीं **सूर्य**, **क** बिंदूंत उगवतो. **इ** पासून **अ** बिंदु जितका उत्तरेस आहे तितकाच हा बिंदु दक्षिणेस आहे, आणि तो **द** बिंदूंत मावळतो. हा ही बिंदु **व** पश्चिम बिंदू पासून तितकाच दक्षिणेस आहे. ह्या दिवशीं सूर्यो-दय आग्नेय व पूर्व ह्यांचें मध्यें होतो आणि सूर्यास्त नैर्ऋत्य व पश्चिम ह्यांचे मध्यें होतो. **दिसेंबरची** २१ वी तारीख झाल्यावर तो क्रमा क्रमानें तीन महिने पर्यंत मागें येत असतो आणि **मार्चाचे** २१ वे तारखेस पुनः बराबर पूर्वेस उगवतो आणि बरोबर पश्चिमेस मावळतो. ह्यावरून असें दिसतें, कीं एका वर्षांत **सूर्याचे** उदयास्तबिंदु प्रथमतः पूर्वापर रेषेचे एके बाजूस जातात, मग परत येतात; आणि तितकेच त्या रेषेचे दुसरे बाजूस जातात, आणि शेवटीं त्याच रेषेवर पुनः परत येतात. जर आपण आणखी कांहीं काल पर्यंत **सूर्याकडे** पाहत गेलों, तर असें दिसेल, कीं **सूर्य** दर वर्षीं वर सांगितल्या प्रमाणेंच गमन करीत असतो.

२३. ह्या वरून असें स्पष्ट दिसून येतें, कीं उदयास्तबिंदूंत फेर-फार झाल्यानें इतर गोष्टींतही म्हणजे **सूर्याचे** दोन प्रहरींचे अत्युच्च स्थानांत आणि दिवसाचे मानांत म्हणजे क्षितिजाचे वर **सूर्याचे** अस-ण्याचे कालांत ही फेरफार होतो आणि वास्तविक पाहिलें असतां एकां-तील फेरफार दुसऱ्यांतील फेरफारास कारणीभूत आहे. उन्हाळ्यांत जी **सूर्याची** फार उंची होते, ती आणि जें मोठें दिनमान होतें तें हीं दोन्ही **सूर्याचे** उदयास्त पूर्वापर रेषेचे उत्तरेस झाल्यानें होतात, आणि **सूर्याच्या** उदयास्तांचीं स्थानें जसजशीं उत्तरेकडे सरतात, तसतसा तो मध्यान्हीं वर वर येतो आणि क्षितिजाचे वर अधिक अधिक वेळ राहतो. हें स्पष्ट समजण्या करितां आपण प्रथमतः असें मनांत आणावें, कीं आपण जोंपर्यंत एकाच जागेवर राहतों, तोंपर्यंत ताऱ्यां प्रमाणेंच बहुत करून **सूर्य** उदय पावतांना एका नियमित दिशेनें वर येतो. जर आपण आकाशांतील **सूर्याचे** गमनमार्गानें एक रेषा काढली, तर ती रेषा सदां एकच कोन करणारी असते. जर ती रेषा

एके दिवशीं लंब असली (कितिएक देशांत ही रेषा लंब आहे) तर ती सदा लंबच असते, जर ती रेषा ४५ अंश कोन करणारी असली, तर ती रेषा सदा तशीच असते. जसें ह्या आकृतींत न, इ, स, व, हें क्षितिज आहे. आणि न, इ, स, व, हे बिंदु उत्तर, पूर्व, दक्षिण आणि पश्चिम ह्या मुख्य चार दिशांचे बिंदु दाखवतात. स, अ, न, ब हें याम्योत्तर आहे. आतां जेव्हां सूर्य इ पूर्व बिंदूंत उगवतो



आणि व पश्चिम बिंदूंत मावळतो, तेव्हां जर तो इ, अ, व, ब दिशेनें आकाशभर फिरला, तर तो इ आणि व ह्या बिंदूंचे दक्षिणेस अथवा उत्तरेस उगवूं मावळूं लागला असतांही आकाशभर तो इ, अ, व, ब दिशेनेंच फिरेल. म्हणजे जेव्हां उन्हाळ्यांत तो उत्तरेकडे जातो, तेव्हांही तो ज्या क, अे, द, बे दिशेनें आकाशांत फिरतो; ती दिशा क्षितिजाशीं पूर्वींचे इतकाच कोन करते, म्हणजे ती इ, अ, व, ब शीं समांतर असते; म्हणून हें उघड आहे, कीं क, अे, द, बे रेषा याम्योतरास ज्या स्थळीं कापते, तें अे स्थल अ पासून जितकें दूर आहे तितकाच क उदय बिंदू इ पूर्व बिंदूपासून दूर आहे आणि क, अे, द, बे ह्या वर्तुलाचा क्षितिजाच्या वरील भाग क, अे, द खालचे द, बे, क भागाहून मोठा आहे, ह्यामुळें सूर्य क्षितिजाचे वर बारा तासांपेक्षां अधिक वेळ राहतो. ऐन हिंवाळ्यांत जेव्हां सूर्य पूर्व बिंदूचे दक्षिणेस उगवून म, अै, ने, बै रेषेनें आकाशभर फिरतो, तेव्हां तो याम्योत्तरास ज्या स्थलीं कापतो तें अै स्थल अ बिंदूपासून अे बिंदू जितके अंतरावर आहे तितकेच अंतरावर आहे आणि म, अै, ने, बै रेषेचा क्षितिजाचे वरील भाग खालचे भागाहून कमी असतो, ह्यामुळें सूर्य क्षितिजाचे वर बारा तासांपेक्षां कमी वेळ राहतो. ऐन उन्हाळ्यांतील सूर्याचें अत्युच्च स्थान अे आणि ऐन हिवाळ्यांतील त्याचें अत्युच्च स्थान अै ह्यांचे मध्यें अंतर, त्याचे उदयास्त बिंदु

आणि पूर्वापर बिंदू ह्यांचे मध्यें जें अतिशयित अंतर, त्याचे दुप्पटी इतकें म्हणजे सुमारें वर्तुलपादाचे निमें आहे. सर्व वर्तुलाचे सारखे ३६० भाग म्हणजे एका वर्षांत जितके दिवस आहेत, तितके सुमारें भाग करून प्रत्येक भागास अंश म्हणतात आणि तासा प्रमाणेंच प्रत्येक अंशाचे ६० भाग करून प्रत्येक भागास कला (अथवा मिनिट) म्हणतात; म्हणून मध्य रेषेच्या (म्हणजे विषुववृत्ताच्या) प्रत्येक बाजूस **सूर्या**च्या उदयास्त बिंदूंचें परम गमन, जें आम्हीं सुमारें वर्तुलपादाच्या चतुर्थांशा इतकें म्हणून सांगितलें, तें बराबर २३ अंश, २८ कला, आणि कांहीं कलेचा भाग इतकें आहे, आणि ऐन उन्हाळ्यांतील **सूर्याचें** अत्युच्चस्थान आणि ऐन हिवाळ्यांतील अत्युच्च स्थान ह्यांचे मध्यें अंतर ४६ अंश ५६ कला आहे. ह्या प्रमाणेंच **पुण्यांत** ऐन हिवाळ्यांत **सूर्याची** दोन प्रहरची उंची सुमारें ४८ अंश आहे, आणि ऐन उन्हाळ्यांत त्याची उंची सुमारें ८५* अंश आहे. क्षितिजा पासून खस्वस्तिकापर्यंत सगळें अंतर वर्तुलपाद म्हणजे ९० अंश आहे, ह्यास आकाशाची उंची म्हणतात.

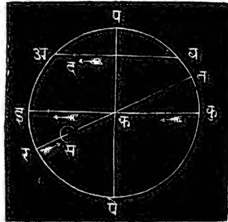
२४. ह्या प्रमाणें, **सूर्य** भचक्रा बरोबर नित्य गमन करीत असून ही त्याचे आंगीं दोन प्रकारच्या गति दृष्टीस पडतात. एक ताऱ्यांमधून मागें जाणें आणि दुसरी त्यामधून आजूबाजूनें जाणें, आणि ह्या दोन्ही गतींच्या आवृत्तींचा आरंभ व समाप्ति एक काळींच होतात. वास्तविक पाहिलें असतां ह्या दोन गति म्हणजे **सूर्याचें** नक्षत्रांमधून विलोम गमन व त्याचें एकदां दक्षिण गोलार्धांत व एकदां उत्तर गोलार्धांत असें अनुक्रमें चलन हीं एकाच कारणाचीं कार्यें होत. तें कारण हेंच कीं **सूर्य** नक्षत्रां मधून ज्या मार्गानें वार्षिक भ्रमण करितो, तो मार्ग विषुववृत्तास छेदून दक्षिण गोलार्धांत व उत्तर गोलार्धांत कांहीं अंश पर्यंत गेला आहे.

२५. ह्या पुढील आकृतींत **प** आणि **पे** आकाशाचे ध्रुव आहेत.

---

* ४८+४७=९५ होतात खरे, परंतु परमोन्नति ९० अंश आहे ह्यास्तव वरच्या पांच अंशांनीं ती उन्नति कमी होऊन ८५ अंश होते.

त्यां भोवतें भचक्र फिरतें; इ कु हें खस्थ विषुववृत्त आहे. प्रत्येक ताऱ्याची गति ह्या विषुववृत्ताचे दिशेंत अथवा त्याशीं समांतर दिशेंत असते आणि कधींही ह्या दिशेला सोडून असत नाहीं. जर एकदां तारा इ कु विषुववृत्तावर असला, तर तो सदां विषुववृत्तांतच फिरेल. जर तो दुसरे कोणते ठिकाणीं, जसें ह्या आकृतींत द ठिकाणीं असला, तर तो नित्य ब द अ वर्तुलांत विषुववृत्ताचेच दिशेनें, म्हणजे त्याशीं समांतर दिशेनें फिरेल, परंतु सूर्य वर्षांतून सहा महिने विषुववृत्ताचे एके बाजूस आणि सहा महिने दुसरे बाजूस असतो, आणि दोन



वेळ मात्र बराबर विषुववृत्तावर येतो. आतां, सूर्य भचक्रा बरोबर नित्य भ्रमण करूनही विषुववृत्ताशीं २३ अंश २८ कलाचा कोन करणारे र स त ह्या वर्तुलांत वर्षास एकदां फिरतो, असें मानलें तर मात्र वरची गोष्ट सोपपत्तिक सांगतां येते. वर्षांतून दोन वेळ तो विषुववृत्ताचे फ बिंदूंत येऊन सहा वाजतां बराबर पूर्वेस उगवतो आणि बराबर पश्चिमेस मावळतो. विषुववृत्तांत आल्या पासून तीन महिन्यांनीं तो त्या पासून अति दूर म्हणजे जसें वरील आकृतींत र जागीं अथवा त जागीं जातो, आणि पूर्वापर बिंदू पासून अति दूर उगवतो, आणि मावळतो, जेव्हां तो र जागीं जातो तेव्हां २२ व्या कलमांत सांगितल्या प्रमाणें ऐन हिवाळा, आणि जेव्हां त जागीं जातो तेव्हां ऐन उन्हाळा होतो.

२६. वर सांगितलेल्या सूर्याच्या वार्षिक भ्रमण मार्गानें आकाशांत आणखी एक नवीन वृत्त होतें. हें वृत्त ज्योतिःशास्त्रांत बहुत उपयोगीं पडतें, ह्या वृत्तास क्रांतिवृत्त म्हणतात, आणि हें विषुव-

वृत्ताशीं जो कोण (२३ अंश २८ कला) करितें, त्यास क्रांति वृत्ताचें तिर्यक्त्व म्हणतात. सूर्याच्या वार्षिक भ्रमणाच्या ह्या तिर्यक्त्वा मुळें खस्थ पदार्थांच्या गमनांचा विचार करण्यास कठिण जातें; परंतु हें तिर्यक्त्व नसतें; तर निरनिराळे ऋतु, म्हणजे, उन्हाळा आणि हिवाळा न होते. जर सूर्य नेहमीं विषुववृत्तांतच असता, तर सर्व जागीं रात्र आणि दिवस हीं सारखीं असतीं, आणि सर्व दिवसांची उष्णता बहुतकरून सारखीच असती. जर तो नेहमीं त जागीं म्हणजे कर्क वृत्तांत असता, तर आपणास (उत्तर गोलार्धांत राहणाऱ्यांस) एन उन्हाळ्याचे म्हणजे फार उष्णतेचे व मोठाले दिवस असते, आणि तणेंकरून वनस्पति, प्राणी, आणि मनुष्यें ह्यांची स्थिति अगदीं बदलून जाती. सूर्य हा इकडे तिकडे फिरणारा आहे, आणि बहुतेक ताऱ्यां प्रमाणें अचल नाहीं; म्हणूनच पृथ्वीचे प्रत्येक भागीं वर्षाचे भिन्न भिन्न कालींचे बहुत उपयुक्त फेरफार होतात. क्रांतिवृत्तास तिर्यक्त्व आहे, म्हणजे सूर्य विषुववृत्ताचे दोन्ही बाजूंस पाळिपाळीनें सरतो, ह्यामुळें उन्हाळा आणि हिवाळा हे होतात. जर हें तिर्यक्त्व अधिक असतें, तर उन्हाळा आणि हिवाळा ह्यांचे मध्यें जो सांप्रत भेद पडतो त्यापेक्षां अधिक भेद पडता.

२७. चंद्र आणि सूर्य ह्यां खेरीज दुसरे आणखी कांहीं चल तारे आहेत. ते साधारणपणें पाहिलें असतां अचल ताऱ्यां प्रमाणें दिस-तात. ह्या चल ताऱ्यांपैकीं पांच मात्र प्राचीन लोकांस माहीत होते; परंतु दोनशें वर्षांपूर्वीं दुर्बिणीचा शोध लागला, आणि जे तारे नुसत्या डोळ्यांनीं कधींही दिसले नसते, असे पुष्कळ तारे तेव्हां पासून आपले दृष्टीस पडूं लागले. आणि जरी ह्या नवे ताऱ्यांपैकीं बहुतेक अचल आहेत, तरी कांहीं थोडेसे नवीन चल तारेही माहीत झाले आहेत. प्राचीन लोकांस जे पांच चल तारे माहीत होते आणि जे चलतारे नुसत्या

डोळ्यांनींही पाहतां येतात, त्यांस ग्रह म्हणतात. हे ग्रह सोळा आहेत, आणि ह्यांशीं, आपण जीवर राहतों ती पृथ्वी पुष्कळ गोष्टींनीं सदृश असल्या मुळें तिचीही गणना त्यांत करून एकंदर सतरा ग्रह मानितात. ग्रहांचें सादृश्य असल्यामुळें पृथ्वीस जशी ग्रह ही संज्ञा दिली, तसेंच चल ताऱ्यांपैकीं कित्येक चंद्राशीं सदृश असल्यामुळें त्यांस चंद्र किंवा उपग्रह ही संज्ञा देतात. प्रसिद्ध चंद्रासुद्धां असे उपग्रह सांप्रत २० समजले आहेत. ह्या वर सांगितलेल्या चल ताऱ्यांहून फारच अनियमित आणि विलक्षण असे कितीएक चल तारे आहेत, त्यांस धूमकेतु अथवा शेंडीं नक्षत्रें म्हणतात. ते धूमकेतु कधींमधीं कांहीं काल पर्यंत दिसतात. त्या वेळीं त्यांची आकृति विलक्षण आणि चकाकी फार असते. ते अमुकच आहेत, असें सांगतां येत नाहीं. ते असल्यास कदाचित् हजारों हजार असतील.

२८. सर्व चल ताऱ्यांमध्यें सोळा ग्रहांच्या गति विशेष नियमित खऱ्या. तथापि त्यांच्याही गति चंद्रसूर्यांच्या गतीशीं लावून पाहतां अनियमितच दिसतात. उदाहरणार्थ आपण शुक्र घेऊं. हा सर्वांमध्यें फारच चकचकीत आहे. कधीं कधीं हा सूर्योदयापूर्वीं आणि कधीं कधीं सूर्यास्तानंतर कांहीं वेळ दिसतो. शुक्र सूर्यचंद्रांप्रमाणेंच भचक्रा बरोबर नित्य फिरतो, म्हणजे पूर्वेकडील एका बिंदूंत उगवतो आणि आकाशा मधून जाऊन पश्चिमेकडील एका बिंदूंत मावळतो, परंतु जर आपण अनुक्रमें कितीएक रात्रीं त्याकडे पाहूं लागलों तर असें दिसतें, कीं तो ताऱ्यां मधून आपलें स्थान सर्वदां बदलीत असतो.

* प्राचीन काळीं भरत खंडांतले व इतर देशांतले ज्योतिषी पृथ्वी स्थिर असून ती भोंवतीं सर्व ग्रह फिरतात असें समजून सूर्य ग्रहांत मोजीत असत. आलीकडे, विशेष शोधावरून असें सिद्ध झालें आहे, कीं सूर्य स्थिर असून त्याभोंवतीं पृथ्वी वगैरे फिरतात. त्यावरून अर्वाचीन ज्योतिषी पृथ्वीस ग्रहांत गणतात, सूर्यास गणीत नाहींत. तसेंच प्राचीन काळीं चंद्रास ही ग्रह मानीत, परंतु अर्वाचीन ज्योतिषी त्यासही ग्रह मानीत नाहींत. कारण तो सूर्या भोंवतीं स्वतंत्रपणें फिरत नाहीं; पृथ्वी भोंवतीं फिरतो. ह्यास्तव चंद्रास उपग्रह ह्मणजे ग्रहाचा ग्रह असें ह्मणतात. स्वतंत्रपणें सूर्या भोंवतीं फिरणारे जे चल तारे त्यांस मात्र ग्रह हें नांव देतात.

तो आपलें स्थान ताऱ्यांमधून कोणत्या नियमानें बदलितो; हें समजण्या करितां आपण कितीएक महिने त्याकडे पाहत गेलों, तर आपणास असें आढळतें, कीं तो सदां **सूर्या**चे सन्निध असतो खरा तरी नियमानें **सूर्या** बरोबरच ताऱ्यां मधून जात नाहीं; तर तो मागें पडून किंवा पुढें जाऊन कधीं कधीं त्याचे एके बाजूस आणि कधीं कधीं दुसरे बाजूस सरतो. उदाहरणार्थ असें कल्पूं, कीं जेव्हां **शुक्र** सकाळीं **सूर्या**चे पूर्वी उगवून **सूर्या** पासून जें काय त्याचें अतिशयित अंतर त्या अंतरावर आहे, तेव्हां त्याकडे पाहण्यास (म्हणजे शुक्राचे वेधास) आरंभ केला, तर प्रति दिवसाचें लक्ष्यपूर्वक अवलोकनानें आपणास असें दिसतें, कीं तो **सूर्या**चे जवळ जवळ येत आहे, व त्याचे उदयास दररोज अधिक अधिक विलंब लागून शेवटीं तो **सूर्या**च्या इतका जवळ येतो, कीं त्याच्या अतिशय तेजामुळें तो दिसेनासा होतो. मग तो कितीएक दिवस अदृश्य असतो. पुढें तो संध्याकाळचा दिसूं लागून **सूर्य** मावळल्यावर पश्चिमेस थोडासा वेळ राहून लागलाच खालीं जातो. कांहीं दिवस गेल्यावर, तो अधिक काल पर्यंत पाहतां येई इतका सूर्यास्तकालीं पश्चिम क्षितिजाचे वर असतो, आणि ह्या रीतीनें **सूर्या** पासून आपलें अंतर वाढवितां वाढवितां तो परमाधिक अंतरावर येतो. (हें अंतर सुमारें अर्ध काटकोन असतें. पण सदां इतकेंच असतें असा नियम नाहीं) मग पुनः **सूर्या**कडे परत जाऊं लागतां लागतां शेवटीं तो त्याचे इतका जवळ जातो कीं तो आपणास दिसेनासा होतो. ह्या वेळीं तो **सूर्या**चे आजू बाजूनें अथवा त्याचे बिंबा पुढून किंवा मागून आकाशांत भ्रमण करीत असतां, उदय आणि अस्त पावतो. पुढें थोडे दिवस गेल्यावर तो **सूर्यो**दयाचे पूर्वी अधिक अधिक वेळ दिसूं लागून, शेवटीं **सूर्या** पासून जावयाचा इतका परम अंतरावर जातो आणि मग परत वळून पुनः **सूर्या**कडे येऊं लागतो. ह्यांवरून असें दिसतें, कीं **शुक्रा**चा गमनमार्ग **सूर्या**चे संबंधानें पाहिला असतां नियमित आणि सहज समजण्या जोगा आहे, म्हणजे **शुक्र** नियमानें असा मागें पुढें जातो, कीं कधीं

कधीं तो सूर्याचे मागें आणि कधीं कधीं सूर्याचे पुढें असतो, आणि असले सर्व भ्रमणमार्गांत दोनदां सूर्याचे आजूबाजूनें, त्याच्या किंवा पुढून किंवा त्याच्या मागून जातो. शुक्रास ह्या भ्रमणाची पूर्ण आवृत्ति करण्यास ५८४ दिवस म्हणजे सुमारें १९ महिने लागतात.

२९. सूर्य स्वतः तान्यांमधून विलोमगतीनें फिरतो; ह्मणून त्याच गमनाच्या संबंधानें शुक्राचें गमन न पाहतां, अचल तान्यांतूनच किती एकांच्या संबंधानें त्याचें गमन पाहिलें, तर त्याचें गमन विशेष अनियमित दिसतें. तो नेहमीं सूर्यापासून नियमित अंतरावर असतो, ह्मणून सूर्य जसा पश्चिमे कडून पूर्वेकडे आणि विषुववृत्ताचे एके बाजूकडून दुसरे बाजूकडे आपलें वार्षिक भ्रमण करितो, तसें त्यासही केलें पाहिजे; परंतु सूर्य स्वतां हळू हळू व बहुतकरून नियमानें तान्यांमधून फिरत असतां, शुक्र तान्यांमधून कधीं एका मार्गानें आणि कधीं त्याच्या उलट मार्गानें फिरतो आणि कधीं कधीं अचल तान्यां प्रमाणें स्थिरही राहतो. ही गोष्ट तो सूर्याचे पुढें मागें जातो तेणेंकरून होते. जेव्हां तो सूर्यापासून परमाधिक अंतरावर असून सकाळचा सूर्याचे पूर्वी उगवतो, तेव्हां अर्थातच तो सूर्याचे पश्चिमेस असतो, ह्याकरितां जेव्हां तो सूर्याकडे येऊं लागतो, तेव्हां त्यास पश्चिमे कडून पूर्वेकडे यावें लागतें. आणखी सूर्य स्वतः वार्षिक गमन करीत असतां तान्यां मधून पश्चिमेकडून पूर्वेकडे पुढें पुढें जातो, आणि शुक्र तर सूर्या इतकेंच गमन करून त्या पासून आपलें अंतर सारखें राखतो असें नाहीं. तर वास्तविक त्याचे जवळ जवळ जात असतो; म्हणून तो तान्यां मधून सूर्यापेक्षा अधिक जलदीनें जात असला पाहिजे. ह्या समयीं त्याचा तान्यांमधून जाण्याचा वेग, सूर्याचा वेग आणि सूर्याकडे त्याचा स्वतःचा जाण्याचा वेग ह्या दोन्हींच्या बेरजे बरोबर असतो. तो सूर्याचे अगदीं जवळ जाऊन त्यास उल्लंघून त्याचे दुसरे बाजूस म्हणजे* पूर्वेस जाई पर्यंतच तो वर सांगितल्या दिशेनें

* ह्या वेळीं सूर्य पश्चिमेकडे जाऊं लागला म्हणजे त्याचे मागें शुक्र असतो, म्हणून सूर्यास्त झाल्यावर तो आपणास दिसतो.

जातो असें नाहीं, तर **सूर्या** पासून **शुक्राचें** अंतर ह्या रीतीनें परमाधिक होई पर्यंत, म्हणजे तो **सूर्या**कडे येण्यास पुनः परत फिरे पर्यंत तो ह्याच दिशेनें चालतो. मग तो संध्याकाळचा दिसूं लागून, परमाधिक अंतरावर गेल्या पासून सकाळचा उगवून परमाधिक अंतरावर जाई पर्यंत, तो विलोमगतीनें **सूर्या**चे मागें पडत जातो आणि ह्याच्या गतीच्या मानाच्या प्रमाणें त्यास ताऱ्यां मध्यें स्थलांतर होतांना दिसतें किंवा न दिसतें. **शुक्रा**ची ही विलोमगति म्हणजे पूर्वे कडून पश्चिमेकडे जाणें जर **सूर्या**चे गती बराबर, म्हणजे पश्चिमेकडून पूर्वेकडे जाण्या बराबर असलें तर तो ताऱ्यां मध्यें अगदीं स्थिर आहेसा दिसतो; परंतु जर ही त्याची विलोमगति **सूर्या**चे गतीपेक्षां अधिक असली, तर तो **सूर्या**चे गमनाचे विपरीत दिशेनें ताऱ्यां मधून जातोसा दिसतो; म्हणून ते वेळीं त्याचा दिवस सौरदिवसा बराबर, म्हणजे २४ अवरांचा असत नाहीं; पण नाक्षत्र दिवसापेक्षांही, म्हणजे २३ अवर ५६ मिन्युटें ह्या कालापेक्षांही कमी असतो. **शुक्रा**च्या ह्या भ्रमणाच्या वेळीं वस्तुतः असें घडतें, कीं कधीं कधीं त्याचा वेग **सूर्या**चे वेगापेक्षां अधिक असतो. त्या वेळीं त्यास ताऱ्यांमधून **सूर्या**चे गतीशीं उलट गति असते आणि कधीं कधीं त्याचा वेग **सूर्या**चे वेगापेक्षां कमी असतो, त्या वेळीं तो **सूर्या**चे दिशेनें पण त्या पेक्षां हळू हळू गमन करितो, आणि कधीं कधीं ह्या दोघांचीं परस्पर विपरीत गमनें बराबर असतात. त्या वेळीं **सूर्य** त्यास मागें टाकीत चालला असतां, तो ताऱ्यां मध्यें स्थिर राहतो. **सूर्य** जसा गमन करितो तशी पश्चिमे कडून पूर्वेकडे जी ताऱ्यां मधून गति तिला अनुलोम अथवा सरल गति ह्मणतात आणि ह्या गतीच्या उलट जी गति, म्हणजे पूर्वेकडून पश्चिमेकडे जी गति तिला विलोमगति, व्युत्क्रमगति अथवा वक्रगति ह्मणतात आणि जेव्हां मुळींच गति दृष्टीस पडत नाहीं, तेव्हां तो ग्रहादि खस्थ पदार्थ अचल अथवा स्थिर आहे किंवा त्याचा स्तंभ झाला, असें ह्मणतात; परंतु ही गोष्ट नेहमीं लक्ष्यांत ठेविली पाहिजे, कीं क्रांतिवृत्तांतील **सूर्या**ची वार्षिक गति, जिला वर सरल

गति म्हटलें आहे, ती **सूर्य**, **चंद्र**, आणि तारे ह्यांचे दैनंदिन गतीशीं उलट आहे.

३० ज्या ग्रहास **बुध** ह्मणतात, तो **शुक्रा**प्रमाणेंच गमन करितो, परंतु त्या दोघांच्या गमन करण्यांत एवढाच भेद आहे; कीं **बुध सूर्या** पासून त्याचे कोणतेही बाजूस **शुक्रा** इतका दूर कधींही जात नाहीं. आणि तो **सूर्याचे** पुढें मागें जाऊन आपलें वर्तुल भ्रमण **शुक्रा** पेक्षां फारच कमी कालांत करितो. संध्याकाळीं उगवून तो तारा **सूर्या** पासून परमाधिक अंतरावर गेल्यापासून पुनः त्याचे अंतरावर यावयास त्यास मध्यम मानानें ११६ दिवस लागतात. तो **सूर्याचे** फार संन्निध असतो. आपणास नुसत्या डोळ्यांनीं पाहतां येई इतका दूर तो **सूर्या** पासून बहुतकरून कधींही जात नाहीं. अचल ताऱ्यांमध्यें **बुधाचें** गमन कसें होतें, हें आपण पाहूं लागलों, तर असें आढळतें, कीं **बुधही शुक्रा** प्रमाणें चमत्कारिक रीतीनें गमन करितो, म्हणजे गमन करीत असतां तो कधीं कधीं सरल गतीनें चालतो व कधीं कधीं वक्री येतो आणि कधीं कधीं त्याचा स्तंभ होतो, म्हणजे तो स्थिर असतो.

३१. **बुध** आणि **शुक्र** आपले प्रत्येक गमनावृत्तींत **सूर्यबिंबाचे** जवळून जातात; परंतु फार करून ते **सूर्यबिंबा** वरून जात नाहींत; तर त्याचे थोडेसे एका बाजूनें अथवा दुसरे बाजूनें जातात. आतां कधीं कधीं ते **सूर्यबिंबा** वरून जातांना दृष्टीस पडले आहेत. या वेळेस ते त्यावर काळ्या ठिपक्या सारखे दिसतात. ह्या उल्लंघनांस त्यांची (उल्लंघणारा **बुध** असेल तर **बुधाची** आणि **शुक्र** असेल तर **शुक्राची**) युति म्हणतात, आणि ह्या युति (विशेषतः **शुक्राच्या**) ज्योतिःशास्त्रांत बहुत उपयोगी आहेत. **बुधाची** युति झाल्या पासून पुनः त्याची युति होण्यास १३ अथवा ७ वर्षे लागतात, आणि ही युति सन १८४८ सांत झाली होती आणि पुनः सन १८६१ श्रांत होईल. **शुक्राची** युति अनुक्रमें ८,१२२,८,१०५,८,१२२ इत्यादि वर्षांनीं, आणि नेहमीं **जुनांत** किंवा **दिसेंबरांत** होते. ही युति सन १७६९ रांत झाली होती आणि पुनः सन १८७४ राचे

दिसेंबराचे ८ वे तारखेस आणि सन १८८२ शांचे **दिसेंबराचे** ६ वे तारखेस होईल.

३२. नुसत्या डोळ्यांनीं दिसणारे जे दुसरे तीन ग्रह **मंगळ**, **गुरु** आणि **शनि** ते **सूर्याचे** आसपास असत नाहींत आणि **सूर्याचे** गतीशीं संबंध न ठेवितां ते सर्व खगोलभर फिरतात. ते आपणास पाहतां न येत इतके **सूर्याचे** जवळ बहुतकरून जात नाहींत ह्यामुळें ताऱ्यां मधून ते कसें गमन करितात, हें पाहणें **बुध** आणि **शुक्र** ह्यांच्यापेक्षां फार सोपें आहे.

३३. तर मग, उदाहरणार्थ ह्या तिघांमध्यें फार चमकणारा आणि **बुध** आणि **शुक्र** हे खेरीज करून आकाशांतील सर्व ताऱ्यांमध्येंही फार चमकणारा असा जो **गुरु** तो घेऊन त्याजकडे अनुक्रमें कितीएक रात्रीं पाहिलें, तर आपणास असें दिसतें, कीं तो **सूर्य चंद्रा** प्रमाणेंच ताऱ्यांमधून पश्चिमेकडून पूर्वेकडे गमन करितो; परंतु त्याची गति **सूर्यचंद्रांच्या** गतीपेक्षां फार मंद आहे. जर आपण कांहीं कालपर्यंत प्रति दिवशीं त्याकडे पाहत गेलों, तर आपणास असें आढळतें, कीं तोही इतर ग्रहां प्रमाणेंच आकाशा भोंवतीं पश्चिमे कडून पूर्वेकडे गमन करितो; परंतु वरचेवर तो स्थिर राहतो, थोडासा मागें जातो, पुनः स्थिर राहतो, आणि शेवटीं पुढें जातो. आतां ह्याचें स्थिर राहणें वगैरे नियमित कालानेंच होतें, असें नाहीं.

३४. आकाशांत आपण **मंगळा** कडे पाहूं लागलों, तर तो अग्नी सारखा तांबडा दिसतो. ह्यासही **गुरु** प्रमाणें गति आहे; परंतु ह्याची गति **गुरूचे** गतीपेक्षां फार शीघ्र आहे. आकाशा भोंवतीं प्रदक्षिणा करण्यास **गुरूला** बारा वर्षें लागतात, आणि **मंगळास** दोनच वर्षें लागतात; परंतु **मंगळही** इतर ग्रहां प्रमाणें मध्येंच थांबतो, थोडासा मागें जातो, पुनः थांबतो, आणि शेवटीं पश्चिमे कडून पूर्वेकडे आपलें गमन पुढें चालवितो.

३५. **शनि** गमन करण्यांत **गुरु** पेक्षांही मंद आहे, त्यास आकाशा भोंवतीं प्रदक्षिणा करण्यास सुमारें ३० वर्षें लागतात. त्याची

गति इतरांचे पेक्षां अधिक निश्चित आहे; कांकीं, जरी तो कधीं कधीं थांबतो आणि मागें जातो, तरी त्याचें मागें जाणें गुरूच्या मागें जाण्यापेक्षां आणि विशेषें करून मंगळाचे पेक्षां फारच कमी असतें.

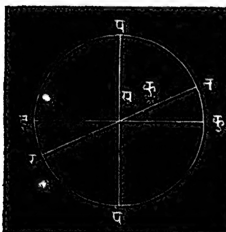
३६. दुर्बिणीच्या येगानें माहीत झालेले जे दुसरे १० ग्रह तेही मंगळ, गुरु आणि शनि ह्यां प्रमाणें गमन करितात; त्यां पैकीं एकही बुध शुक्रां प्रमाणें सूर्याचे संनिध असत नाहीं. ते तार्‍यां मधून इतरां प्रमाणेंच गमन करितात, म्हणजे भिन्न भिन्न कालीं मध्येंच थांबतात, थोडेसे मागें जातात, पुनः थांबतात, आणि शेवटीं पश्चिमे कडून पूर्वेकडे आपलें गमन पुढें चालवितात.

३७. हे सर्व ग्रह आकाशांत कोणत्या वृत्तांत फिरतात? काय ते भचक्रा प्रमाणें विषुववृत्तांत अथवा त्याशीं समांतर वृत्तांत फिरतात? अथवा त्यास छेदून जाणार्‍या क्रांतिवृत्तांत सूर्य जसा फिरतो तसे फिरतात? ह्या विषयीं विचार करूं लागलें; तर असें समजतें, कीं ते आकाशांत विषुववृत्तास छेदून जाणार्‍या वृत्तांत फिरतात. हे सर्व ग्रह विषुववृत्ताजवळ जवळ फिरतात. त्याला सोडून फार लांब जात नाहींत. ते कधीं कधीं उत्तरार्ध गोलांत आणि कधीं कधीं दक्षिणार्ध गोलांत सरतात, म्हणून प्रत्येक ग्रह तार्‍यां मधून ज्या वर्तुलांत फिरतो, तें वर्तुल जर आपण काढलें, तर आपणास असें समजतें, कीं तें प्रत्येक वर्तुल वेगळालें क्रांतिवृत्तच आहे, म्हणजे विषुववृत्तास छेदून जाणारें तिर्कस वर्तुल आहे. सूर्याचे जसे वेध घेऊन क्रांतिवृत्त काढितात; तसेच वेध घेऊन हीं वृत्तेंही काढितां येतात; म्हणजे प्रत्येक ग्रह तार्‍यां मधून एक पूर्ण फेरा करी तोंपर्यंत दररोज त्यांचीं उदयास्त काळाचीं स्थानें पाहिल्यानें, तो ज्या वृत्तांत तार्‍यां मधून फिरतो, तें वृत्त काढितां येतें. आणि ग्रहांचीं हीं वृत्तें वास्तविक काढिलीं असतां असें दिसून येतें, कीं बहुतकरून हीं सर्व वृत्तें सूर्याचे वृत्ताचे, म्हणजे क्रांतिवृत्ताचे फार जवळ आहेत. नुसत्या डोळ्यांनीं दिसणार्‍या पांच ग्रहांतून बुध मात्र क्रांतिवृत्ताला सोडून सर्वांपेक्षां दूर जातो; परंतु तो देखील क्रांतिवृत्ताचे तिर्यक्त्वाचे तृतीयांशापेक्षां अधिक दूर जात नाहीं

आणि दुसरे चार तर, क्रांतिवृत्तास बहुतकरून लागूनच असतात.

३८. ग्रहांचीं वृत्तें ज्यांस कक्षा म्हणतात, तीं क्रांतिवृत्तास बहुतकरून लागूनच आहेत. ह्यामुळें ज्योतिःशास्त्रज्ञांनीं ज्यांत ग्रहांच्या कक्षा येतील, असा क्रांतिवृत्ताच्या दोहीं बाजूंकडे प्रदेश घेऊन त्यांस राशिचक्र अशी संज्ञा दिली आहे. कृत्रिम खगोलांवर ह्या राशिचक्रांत बारा चित्रें काढिलेलीं असतात. ह्या चित्रां प्रमाणें त्या त्या राशींतल्या नक्षत्रांचा आकार आहे, असें मानिलें आहे. तीं चित्रें येणें प्रमाणें:— **मेष** (मेंढा) **वृषभ** (बैल) **मिथुन** (जुळें) **कर्क** (खेंकडा) **सिंव्ह** (सिंव्ह) **कन्या** (कन्या) **तुळ** (तागडी) **वृश्चिक** (विंचू) **धनु** (धनुष्य) **मकर** (मगर) **कुंभ** (भांडें) **मीन** (मासा) अशीं आहेत. ह्या बारा राशी मिळून क्रांतिवृत्त झालें आहे. व प्रत्येक राशि क्रांतिवृत्ताच्या बाराव्या अंशा इतकी म्हणजे **सूर्याचे** एका महिनांतल्या मार्गा इतकी असते; म्हणून **सूर्य ग्रह**, अथवा **चंद्र** जो क्रांतिवृत्ताच्या जवळूनच फिरतो, विषुववृत्तांत किंवा त्यांशीं समांतर वृत्तांत फिरत नाहीं, तो ह्यांचीं आकाशांतील स्थानें, ते अमक्या नक्षत्रपुंजांत म्हणजे अमक्या राशींत* आहेत, हें सांगितल्यानें दाखवितां येतात.

३९. ह्या आकृतींत **प** आणि **पे** हे खस्थ ध्रुव आहेत, **इ कु** हें विषुववृत्त आहे. आणि ह्यास कापणारें **र त** हें क्रांतिवृत्त ह्मणजे सूर्याचा वार्षिक गतीचा मार्ग आहे. आतां जर क्रांतिवृत्ताचे प्रत्येक बाजूस नऊ नऊ अंश असणारा असा प्रदेश घेतला, तर बहुतकरून सर्व ग्रहांच्या कक्षा त्या प्रदेशांत सांपडतील. ह्या प्रदेशाच्या सारख्या बारा भागांस राशि ह्मटलें आहे. कृत्रिम खगोला वरून अथवा आकाशाचे



* राशी ज्या चिन्हांनीं लिहितात तीं चिन्हें येणेंप्रमाणें.

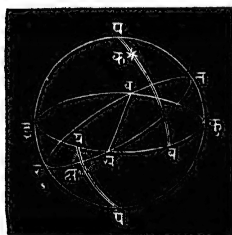
♈ मेष, ♊ मिथुन, ♌ सिंव्ह, ♎ तूळ, ♐ धनु, ♒ कुंभ,
♉ वृषभ, ♋ कर्क, ♍ कन्या, ♏ वृश्चिक ♑ मकर, ♓ मीन.

नकाशा वरून ताऱ्यांचे पुंज समजून घेतल्यानें, अथवा विषुवदिनीं (ह्मणजे **मार्चा**चे २१ वे तारखेस अथवा **सप्तेंबरा**चे २१ वे तारखेस) **सूर्य** कोणत्या पुंजांत आहे, हें समजल्यानें राशिचक्रांतील राशि ओळखितां येतात. **मार्चाचें** २१ वे तारखेस आणि **सप्तेंबराचें** २१ वे तारखेस **सूर्य** विषुववृत्तांत; ह्मणजे आकाशाचे दोन्ही ध्रुवांपासून बारखे अंतरावर असतो. पहिल्या वेळीं तो विषुववृत्त आणि क्रांतिवृत्त ह्यांचे **स** छेदनबिंदूंत असतो, आणि दुसऱ्या वेळीं **स** पासून १८०° अंतरावरील दुसऱ्या छेदन बिंदूंत असतो. कोणत्याही खस्थ पदार्थाचें दक्षिणोत्तर अंतर जसें ध्रुवा पासून मोजितात तसें पूर्वापर अंतर ह्या छेदन बिंदू पासून मोजितात. हे दोन छेदन बिंदु परस्परा समोर असतात आणि ह्यांस विषुवबिंदु अथवा संपातबिंदु ह्मणतात. **मार्चा**चे २१ वे तारिखेस **सूर्य** ज्या संपातबिंदूंत असतो, त्या बिंदू पासून बहुतकरून पूर्वापर अंतरें मोजतात; ह्मणून त्यास मुख्य संपातबिंदु ह्मणतात. प्राचीन लोक हा बिंदू **मेष** राशीचे आरंभीं असतो असें मानीत; परंतु आलीकडे असें समजलें आहे, कीं कांहीं वर्षांनीं हा संपातबिंदु थोडा थोडासा चळतो आणि सांप्रत हा बिंदु एक राशि मागें सरला आहे; ह्मणजे **मीन** राशीचे आरंभीं आला आहे. **सूर्य** दोन हजार वर्षांमागें **मार्चा**चे २१ वे तारखेस **मेषा**चे आरंभीं असे; आतां त्याच दिवशीं तो **मीना**चे आरंभीं असतो आणि **एप्रील** महिन्याचे २१ वे तारिखे पर्यंत **मेषा**चे आरंभीं येत नाहीं; परंतु संपातबिंदु चळतो असें आहे, तरी **मार्चा**चे २१ वे तारिखेस **सूर्य** ज्या बिंदूंत असतो त्याच बिंदू पासूनच ज्योतिःशास्त्रज्ञ आजून पूर्वपश्चिम अंतरें मोजितात, आणि त्यासच **मेष** राशीचा बिंदु मानितात; ह्यास्तव अचल ताऱ्यांचीं पूर्वापर दिशेनें मोजिलेलीं स्थानें नेहमीं बदलत असतात. जसें, मागील आकृतींत **क** तारा प्राचीन कालीं मुख्य संपातबिंदू पासून १२ अंश होता, तो आतां त्याच बिंदू पासून ४२ अंश आहे. संपातबिंदूंचे ह्या चलनास अयनचलन अथवा क्रांतिसंपातगति म्हणतात. संपातबिंदु विलोम गतीनें सुमारें

दोन हजार वर्षांत ३० अंश, म्हणजे दर वर्षांत ५०.१ विकला चळतात.

४०. खस्थ पदार्थांचे गमनाचें बराबर ज्ञान होण्यास त्यांची स्थिति, म्हणजे ते आकाशांत अमकेच स्थलीं आहेत असें समजणें अवश्य आहे, आणि पृथ्वी वरील कोणतेंही स्थल समजणें झाल्यास त्याचें अक्षांतर आणि रेखांतर हीं जशीं समजावीं लागतात, तशाच प्रकारचीं दोन अंतरें कोणत्याही खस्थ पदार्थाची स्थिति समजणें झाल्यास समजावीं लागतात. म्हणून तीं अंतरें कोणतीं घेतात हें आतां सांगतों. तीं अंतरें मोजितांना जीं यंत्रें उपयोगीं पडतात तीं यंत्रें पुढें सांगूं.

४१. पुढील आकृतींत प आणि पे हे खस्थध्रुव आहेत. इ कु हें विषुववृत्त आहे. र न हें क्रांतिवृत्त आहे, हें विषुववृत्तास स आणि व ह्या दोन बिंदूंशीं छेदितें, म्हणून हे संपातबिंदु आहेत. क हा एक तारा आहे, ह्याचें स्थान कसें निश्चित करावें, ह्या विषयीं आपण आतां विचार करूं. प ध्रुव आणि क तारा ह्या दोन बिंदूंत जाणारें आणि विषुववृत्तास लंब होणारें असें एक वर्तुल काढिलें, तर क ताऱ्याचें स्थान दोन अंतरांनीं दाखवितां येतें; ध्रुवापासून ताऱ्यापर्यंत जें अंतर प क तें. एक, ह्यास ध्रुवांतर म्हणतात, आणि हें दक्षिणोत्तर असतें; आणि स मुख्य संपातबिंदु आणि ध्रुवापासून काढिलेलें वर्तुल



विषुववृत्तास जेथें कापितें तो ब बिंदु ह्यांचे मध्यें जो विषुववृत्ताचा भाग स ब तें दुसरें अंतर आहे; त्यास विषुवांतर म्हणतात, आणि हें पूर्वापर असतें. हीं किंवा अशा प्रकारचीं दुसरीं अंतरें मोजितांना वर्तुलाचे अंश घेतात, म्हणजे, जर प पासून क पर्यंत वर्तुल पादाचा एक तृतीयांश आहे, तर प क ध्रुवांतर ३० अंश आहे, आणि जर स पासून ब पर्यंत अंतर सर्व विषुववृत्ताचा एक दशांश आहे, तर

स ब विषुवांतर ३६ अंश आहे. ९० अंशांतून ध्रुवांतर वजा केल्यानें विषुववृत्तापासून **क** ताऱ्यापर्यंत जें अंतर **क ब** तें निघतें, आणि ताऱ्याचें स्थान दाखवितांना बहुधा हेंच अंतर घेतात, ध्रुवांतर घेत नाहींत. सांप्रतचे उदाहरणांत **क ब** ६० अंश आहे. ह्या अंतरास क्रांति म्हणतात, कांकीं, खगोलाची जी मध्य रेषा (म्हणजे विषुववृत्त) ती मुख्य रेषा असें मानून तिचे प्रत्येक बाजूस असणारे जे खगोलाचे प्रत्येक अर्ध विभागांतील तारे ते तिचेपासून क्रांत झाले म्हणजे एकीकडे गेले असें मानिलें आहे.

४२. वर सांगितलेलें आणखी स्पष्ट होण्याकरितां आपण दुसरें एक उदाहरण घेऊं. मागील आकृतींत **क्ष** हा **सूर्य** आहे, हा नेहमीं कोठेंतरी क्रांतिवृत्तांत असतो. आपण असें मानूं कीं तो दक्षिणार्ध गोलांत असून **स** हरिपदा कडे म्हणजे **मार्चाच्या** २१ वे तारिखेस येणाऱ्या **मेष** संपातबिंदू कडे येत आहे. आतां जर आपण खस्थ दक्षिणध्रुव आणि **क्ष** ह्या दोन बिंदूंतून जाणारा आणि विषुववृत्तास लंब होणारा असा एक वर्तुलाचा कंस काढिला, तर **पे क्ष** दक्षिण ध्रुवांतर होईल, आणि **य क्ष** दक्षिणक्रांती होईल, आणि **य स** हें विषुवांतर होईल. हें अंतर **य** आणि **स** ह्यांचे मधील विषुववृत्ताचे भागांत जे अंश आहेत, ते सांगितल्यानें, अथवा (सर्व विषुवांतरें एकाच दिशेनें मोजण्या करितां) विषुववृत्ताचे **स ब कु व इ य** ह्या भागांत जे अंश आहेत, ते सांगितल्यानें कळेल. जर **य स** ४० अंश असेल, तर **स ब कु व इ य** हें विषुवांतर ३२० अंश होईल. जेव्हां **सूर्य स** संपातांत असतो, तेव्हां त्याचें विषुवांतर शून्य असतें, आणि ते वेळीं तो विषुववृत्तांत असतो, म्हणून त्याची क्रांतिही शून्य असते. सभोंवतें फिरून तो **जुनाचे** २१ वे तारिखेस **त** स्थानीं येतो, तेव्हां त्याचें विषुवांतर ९० अंश म्हणजे त्याचे कक्षेचा एक चतुर्थांश असतें, आणि ते वेळीं त्याची क्रांति **क त** ही परमाधिक असते, आणि ती क्रांतिवृत्ताचे तिर्यग्त्वा बराबर, म्हणजे २३ अंश २८ कला (२३°,२८′) असते. **सप्तेंबराचे** २१ वे तारिखेस तो **व**

ह्या संपातांत असतो, तेव्हां त्याचें विषुवांतर १८० अंश असतें, आणि तो ह्या समयीं विषुववृत्तांत असतो, म्हणून त्याची क्रांति शून्य असते. दिसेंबराचे २१ वे तारिखेस तो दक्षिणार्ध गोलांतील र स्थलीं असतो, तेव्हां त्याचें विषुवांतर २७० अंश असतें; आणि क्रांति द र क्रांतिवृत्ताचे तिर्यग्त्वा बराबर, म्हणजे २३ अंश २८ कला असते. ह्याच रीतीनें चंद्र आणि ग्रह ह्यांचें विषुवांतर आणि क्रांति हीं मोजितात.

पृथ्वीवरील एका स्थलाहून दुसऱ्या स्थलीं गेल्यानें होणारीं खस्थ पदार्थांचीं भिन्न दर्शनें.

४३. आपण एवढा वेळ जें सर्व विवरण केलें, त्यांत असें कल्पिलें होतें, कीं आपण सदा एकाच स्थानीं राहून खस्थ पदार्थांचें अवलोकन (म्हणजे वेध) करीत आहों. वास्तविक म्हटलें तर खस्थ पदार्थां विषयीं जें मागें सांगितलें, त्यांतील कांहीं भाग हिंदुस्थाना पासून दूरचे देशांत, जसें केप आफ् गुदहोपांत, आस्त्रेलियांत, अथवा ब्रितिश अमेरिकेंत राहणाऱ्या मनुष्यांस खरा वाटणार नाहीं. म्हणून जेव्हां आपण एका देशाहून दुसऱ्या देशीं जातों, तेव्हां खस्थ पदार्थांचे दर्शनांत कोणता भेद पडतो, ह्या विषयीं आतां आपणास विचार केला पाहिजे. सुगम व्हावा म्हणून आपण उत्तरेकडे अथवा दक्षिणेकडे गेल्यानें खस्थ पदार्थांचे दर्शनांत जो भेद पडतो, त्याविषयीं प्रथमतः विचार करूं. आणि त्यानंतर पूर्वेकडे अथवा पश्चिमेकडे गेल्यानें जो भेद पडतो त्याविषयीं विचार करूं.

उत्तरेकडे अथवा दक्षिणेकडे गेल्यानें होणारीं दर्शनें.

४४. आपण आपले स्थलाहून थेट उत्तरेकडे निघालों, आणि जातां जातां बऱ्याच अंतरावर जाऊन रात्रीं ताऱ्यांकडे पाहूं लागलों, तर प्रथमतः ही गोष्ट आपले नजरेस पडते, कीं त्या ताऱ्यांतून जे तारे पूर्वीं पश्चिमेच्या फार उत्तरेस, म्हणजे उत्तरबिंदूचे जवळच मावळत होते, ते आतां रात्रंदिवस क्षितिजाचे वर असतात. ते

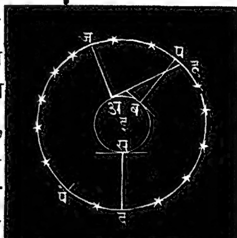
पूर्वी प्रमाणेंच वर येतात आणि आकाशाभोंवतें भ्रमण करून खालीं जातात खरे ; परंतु खालीं जातांजातां क्षितिजाचे खालीं जात नाहींत. ते पूर्वी, म्हणजे आपण ज्या स्थलाहून निघालों त्या स्थलीं क्षितिजाचे खालीं जाऊन फार थोडावेळ अदृश्य होत होते; परंतु आतां ते खालीं जाऊन अदृश्य होत नाहींत, आणि त्याच भागांतील दुसरे कित्येक तारे आतांही खालीं जातात ; परंतु पूर्वींचे पेक्षां कमी वेळ खालीं राहतात. सारांश, आकाशाची उत्तरबाजू आतां वर आली आहे, असें दिसतें. तारे ज्या वृत्तांत गमन करितात, तीं पूर्वींचे पेक्षां उंच होतात, म्हणजे ताऱ्यांचीं याम्योत्तर उल्लंघण्याचीं स्थानें पूर्वींचे पेक्षां वर चढतात. ह्यावरून असें दिसतें, कीं ह्या सर्व ताऱ्यांच्या वृत्तांचा मध्य जो उत्तर ध्रुव तो देखील पूर्वींचे पेक्षां वर आला आहे. आपण आतां आकाशाचे दक्षिण भागाकडे दृष्टि लावून पाहूं लागलों असतां पूर्वी जे तारे क्षितिजाचे वर फार थोडा वेळ राहत होते, ते तारे मुळींच दिसत नाहींत. ते आपलें नित्य भ्रमण पूर्वींचे प्रमाणेंच आतांही करितात; परंतु तीं त्यांचीं भ्रमणें क्षितिजाचे खालचे भागांत होतात. जे तारे आजूनही क्षितिजाचे वर येतात, ते, आपण ज्या स्थलाहून निघालों त्या स्थलीं आतांचे पेक्षां अधिक वर येत होते, आणि अधिक कालपर्यंत क्षितिजाचे वर राहत होते. ह्यावरून हें उघड होतें, कीं भचक्राचा उत्तर भाग जसा वर येतो, तसाच दक्षिणभाग खालीं जातो. खस्थ दक्षिण ध्रुव खालचे आकाशांत अधिक खालीं जातो, आणि उत्तर ध्रुव वरचे आकाशांत अधिक वर येतो. आकाशाच्या आसानें क्षितिजाचे पातळीशीं जो कोन पूर्वी होत होता, त्यापेक्षां आतां अधिक होतो. आपण अधिक अधिक उत्तरेकडे गेलों, तर ही गोष्ट अधिक अधिक होत जाते. जर फार उत्तरेकडील प्रदेशांत बर्फ आणि थंडी हीं नसतीं, तर आपण उत्तरेकडे जातां जातां अशा एका स्थलीं गेलों असतों, कीं जेथें आकाशाचा उत्तर ध्रुव खस्वस्तिकीं येता आणि दक्षिण ध्रुव अधःस्वस्तिकीं जाता. त्या स्थलीं भचक्र डोक्यावर फिरतें;

म्हणजे तारे आकाशा भोंवतीं क्षितिजसमांतर पातळ्यांत फिरते, ते कधींही क्षितिजाचे वर न येते अथवा खालीं न जाते. त्या स्थलाहून नाक्षत्र उत्तरार्ध गोल सदां दिसता, आणि नाक्षत्र दक्षिणार्ध गोल कधींहि दिसताना. जेव्हां **सूर्य** उत्तरार्ध गोलांत येतो, तेव्हां तो **मार्च** महिन्या पासून **सप्टेंबर** महिन्यापर्यंत सहा महिने न मावळतां आकाशा भोंवते नित्य फिरतांना दिसता आणि जेव्हां तो दक्षिणार्ध गोलांत म्हणजे विषुववृत्ताचे दक्षिणेस जातो, तेव्हां तो **सप्टेंबरा** पासून **मार्चा** पर्यंत सहा महिने दक्षिणार्ध गोलांतील ताऱ्यांप्रमाणें अगदीं न दिसता. ह्या प्रमाणेंच **चंद्र** अथवा इतर ग्रह विषुववृत्ताचे उत्तरेस असल्यास ते नेहमीं क्षितिजाचे वर असते आणि दक्षिणेस असल्यास क्षितिजाचे खालीं जाऊन सदां अदृश्य होते. कांकीं त्या स्थलीं विषुववृत्त आणि क्षितिज हीं एकच होतीं.

४५. ज्या स्थलीं खस्थ ध्रुव खस्वस्तिकीं असतो, त्या स्थलीं **सूर्य** सहा महिने मुळींच प्रकाशत नाहीं, आणि सहा महिने आकाशांत अगदीं खालून फिरतो, म्हणून थंडी फारच असते. थंडी फार असल्यामुळें त्या स्थलीं जाऊन वर सांगितलेली खस्थ पदार्थांची स्थिति कोणालाही पाहतां येत नाहीं; तथापि उत्तरेकडे आपणास जितकें जातां येतें, तितक्या वरून अशी खात्री होते, कीं त्या स्थलीं खस्थ पदार्थांची स्थिति वर सांगितलेल्या प्रमाणेंच असावी. ह्या स्थलीं मनांत स्वाभाविक प्रश्न उत्पन्न होतो, कीं पृथ्वीवर हजार पांचशें कोश चालून गेल्यानें भचक्राचें भ्रमण इतकें बदलतें, ह्याचें कारण काय असावें?

४६. ह्याचें कारण पृथ्वीची गोलाकार आकृति हें आहे; ह्यापेक्षां दुसरें कांहीं नाहीं. हजार पांचशें कोश चालून गेल्यानें खस्थ पदार्थांचे दृश्यमान स्थितींत भेद पडतो, ह्या गोष्टीवरूनच बहुतकरून, पृथ्वी गोलरूप आहे, हें प्रथमतः समजलें असावें. जर पृथ्वी अगदीं

सपाट असती, तर खस्थ पदार्थांचे दर्शनांत मागील कलमांत सांगितलेला भेद न पडता. ह्या आकृतींत इ हा पृथ्वीचा गोल आहे, हा खगोलाचे मध्यांत आहे. ह्या गोलाचे अ स्थलीं अ ज ही एक रेषा लंब करून ज पर्यंत वाढविली, तर ज बिंदु अ स्थलाचें खस्वस्तिक होईल. प हा खस्थ ध्रुव आहे, आणि ह हा क्षितिजांतील एक बिंदु आहे; तर ह प ही ध्रुवोन्नति होईल. आतां आपण अ स्थलाहून निघून ब स्थलीं गेलों, आणि ब स्थलाचे पातळीवर एक रेषा लंब करून वाढविली तर ती रेषा ब स्थलाचे खस्वस्तिकांतून जाईल. जर अचे ज खस्वस्तिका पासून प ध्रुव जितके अंश दूर आहे, तितकेच अंश अ पासून ब दूर असेल. तर बचें खस्वस्तिक आणि ध्रुव हीं एकच होतील, आणि मागील कलमांत सांगितल्या प्रमाणें ब ठिकाणाहून खस्थ पदार्थांचें दर्शन होईल. जर आपण पृथ्वीचा सुमारें अर्ध गोल फिरून स स्थानीं गेलों, तर आकाशाचा अगदीं निराळा भाग आपले दृष्टीस पडेल; दक्षिण ध्रुव आणि दक्षिणार्ध गोल हे दिसूं लागतील आणि उत्तर ध्रुव आणि उत्तरे कडील प्रदेश हे दिसेनातसे होतील, आणि आकाशाचे ज्या भागास आपण वरचा भाग असें म्हणतों, तो खालचा भाग होईल, आणि ज्या भागास आपण खालचा भाग असें म्हणतों, तो वरचा भाग होईल; परंतु ही गोष्ट आपण लक्ष्यांत ठेविली पाहिजे, कीं वरचा आणि खालचा ह्या शब्दांनीं अंतरांतील अमुकच दिशा असें समजत नाहीं. दगड आभाळांत झुगारिला असतां ज्या दिशेनें पडतो, ती दिशा अथवा ओळंबा ज्या दिशेनें राहतो, ती दिशा एवढें मात्र ह्या शब्दांनीं समजतें. आतां दगड पडण्याचा अथवा ओळंबा राहण्याचा कल पृथ्वीचे मध्याकडे असतो, म्हणून आपण पृथ्वीचे कोणतेही भागावर असलों, तरी तो कल आपणास सारखाच भासतो. मागील आकृतींत अ पासून थेट वरता अत्युच्च बिंदु ज आहे, ब पासून



थेट वरता अत्युच्च बिंदु **प** आहे, आणि **स** पासून थेट वरता अत्युच्च बिंदु **द** आहे.

४७. ज्या स्थलीं खस्थ उत्तर ध्रुव खस्वस्तिकीं असतो, आणि तारे क्षितिज समांतर पातळ्यांत फिरतात अशा थेट उत्तरेकडील स्थलास पृथ्वीचा उत्तर ध्रुव म्हणतात. हा खस्थ उत्तर ध्रुवाचे समोरच असतो ; म्हणून पृथ्वीचा मध्य आणि हा ध्रुव ह्यांतून एक रेषा काढिली, तर ती जाऊन खस्थ ध्रुवांत मिळेल.

४८. ह्या प्रमाणेंच, आपण जेव्हां दक्षिणेकडे जातों, तेव्हां ही पृथ्वी गोलरूप आहे, असें दृष्टीस पडतें; म्हणजे उत्तरेकडे गेल्यानें जो फेरफार होतो म्हणून सांगितलें, त्याचे उलट फेरफार दक्षिणेकडे गेल्यानें होतो. दक्षिणेकडे बरेंच लांब (उदाहरणार्थ; **कन्याकुमारीस**) जाऊन आकाशाचे उत्तर भागाकडे पाहूं लागलों, तर असें दिसतें, कीं जे तारे पूर्वीचे स्थलीं न मावळतां आकाशांत फिरत होते, ते आतां मावळतात, आणि क्षितिजाचे खालीं कांहीं वेळ राहतात. पूर्वींचे स्थलीं जे तारे सदां वर होते, त्यांतील थोडेच आतां सदां वर असतात. सर्व ताऱ्यांचे भ्रमणवृत्तांचा मध्य जो ध्रुव तोही फारच खालीं जातो. दक्षिण भागाकडे वळून पाहूं लागलों; तर आपणास असें दिसतें, कीं पुष्कळ नवे तारे क्षितिजाचे वर आले आहेत, आणि जे आपले पूर्वींचे स्थलीं क्षितिजाचे थोडे वर येत होते, ते आतां क्षितिजाचे बरेच वर येतात. अशा प्रत्येक गोष्टीवरून असें दिसून येतें, कीं भचक्राचा इकडचा भाग पूर्वींचे पेक्षां अधिक वर आला आहे, म्हणजे खगोलाच्या आंसाचें उत्तर टोंक खालीं जाऊन दक्षिण टोंक वर आलें आहे. जर आपण आणखी दक्षिणेकडे चाललों, तर आपण अशा एका स्थलीं जाऊं, कीं ज्या स्थलीं उत्तर ध्रुव क्षितिजाचे उत्तर बिंदूंत असेल आणि दक्षिण ध्रुव क्षितिजाचे दक्षिण बिंदूंत असेल; ह्यामुळें भचक्राचा आंस क्षितिजाचे पातळींत येईल, आणि तारे आकाशांत फिरतांना क्षितिज लंब दिशेनें वर येतील, आणि क्षितिज लंब दिशेनेंच खालीं जातील. सर्व भचक्र तेथून चोवीस तासांत

दृष्टीस पडेल; प्रत्येक तारा उगवेल आणि मावळेल आणि तो अर्धा दिवस (म्हणजे सुमारें बारा तास) क्षितिजाचे वर असेल आणि अर्धा दिवस क्षितिजाचे खालीं असेल. खस्थ ध्रुवांचे जवळ असणाऱ्या ताऱ्यांचीं भ्रमणवृत्तें लहान असतात; म्हणून ते तारे क्षितिजाचे वर थोडे येतील; परंतु जे तारे विषुववृत्तांत असतात, म्हणजे पूर्व बिंदूंत उगवतात आणि पश्चिम बिंदूंत मावळतात, ते वर येतां येतां खस्वस्तिकीं येतील. ह्या करितां विषुवदिनीं, म्हणजे **मार्चाचे** २१ वे तारिखेस आणि **सप्टेंबराचे** २१ वे तारिखेस **सूर्य** क्षितिजलंब दिशेनें गमन करून मध्यान्हीं खस्वतिकीं येईल आणि मध्य रात्रीं अधःस्वतिकीं जाईल.

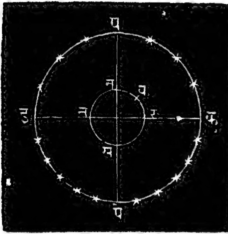
४९. ज्या प्रदेशांत आकाशाचे ध्रुव क्षितिजांत असतात त्या प्रदेशांत जाऊन वर सांगितलेल्या गोष्टी आपणास प्रत्यक्ष पाहतां येतात. **हिंदु महासागरां**तील **सुमात्रा** आणि **बोर्नियो** हीं बेटें, **आफ्रिके**च्या कांठावरील **गिनिया**, **दक्षिण अमेरिके**तील **आमेझोन** नदीचे कांठावरील **गियाना** इत्यादि प्रदेशांत वर सांगितलेल्या गोष्टी घडतात. ज्या वृत्ताचे कोणतेही भागावरून पाहिलें असतां वर सांगितलेल्या गोष्टी दृष्टीस पडतील, अशा पृथ्वीच्या गोला भोंवतीं काढिलेल्या वृत्तास भूविषुववृत्त म्हणजे पृथ्वीचें विषुववृत्त म्हणतात. हें वृत्त दोनही भूध्रुवांपासून सारखे अंतरावर असतें, म्हणून ह्या पासून प्रत्येक ध्रुव वर्तुलपदावर म्हणजे ९० अंशांवर असतो.

५०. आपण ह्या भूविषुववृत्ताचे ही दक्षिणेस जाऊन पाहूं लागल्यास भचक्राचा आंस पुनः वर येतो; परंतु आतां त्या आंसाचें दक्षिण टोंक, म्हणजे खस्थ दक्षिण ध्रुव वर होतो, आणि खस्थ उत्तर ध्रुव खालीं कलतो. आपण अधिक अधिक दक्षिणेकडे गेलों, तर ही गोष्ट आपले पाहण्यांत अधिक अधिक येते; आणि ह्या वरून असें अनुमान होतें, कीं पृथ्वीचे अगदीं दक्षिण टोंकास असें एक स्थल असावें, कीं ज्या स्थलीं आकाशाचा दक्षिण ध्रुव खस्वस्तिकीं असेल, आणि भचक्राचे आंसाचें दक्षिण टोंक वर असून, त्या आंसा भोंवतीं भचक्र

4

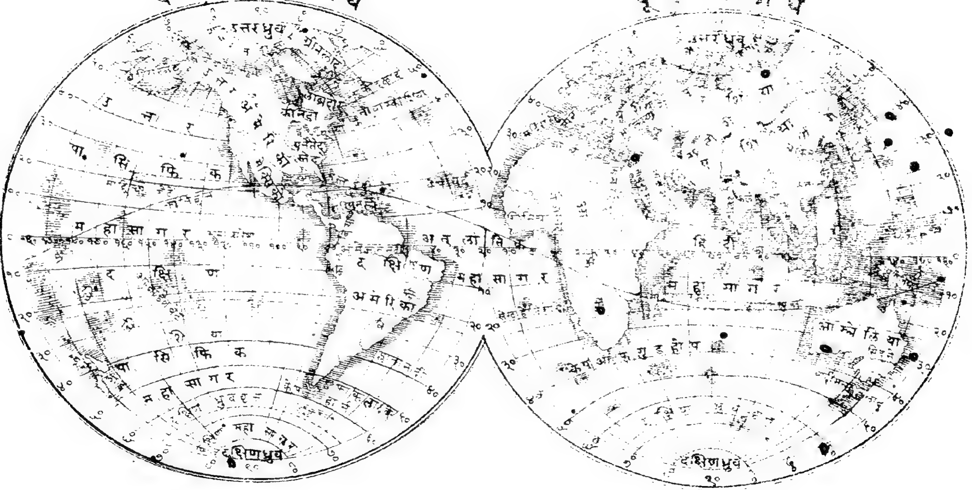
फिरत असेल. फार थंडी असल्यामुळें जसें उत्तर भूध्रुवापाशीं जातां येत नाहीं, तसें दक्षिण भूध्रुवापाशींही जातां येत नाहीं; तथापि आपणास दक्षिणेकडे जितकें जातां येतें तितक्यावरून अशी खात्री झाली आहे, कीं ज्या स्थलीं खस्थ दक्षिण ध्रुव खस्वस्तिकीं असतो, असें एक स्थल असावें. त्या स्थलास भूदक्षिण ध्रुव असें म्हणतात.

५१. ह्या आकृतींत त न र स ही पृथ्वी आहे. आणि इ प कु पे हें भचक्र आहे, आणि ह्याचा आंस प पे आहे. ह्या आंसाचीं दोन टोंकें प आणि पे हीं अनुक्रमें खस्थ उत्तर ध्रुव आणि खस्थ दक्षिण ध्रुव आहेत, आणि इ कु हें विषुववृत्त आहे. पृथ्वीवरील ज्या स्थलीं प खस्थ उत्तर ध्रुव डोकीवर असतो, तें स्थल न आहे, म्हणून न हा पृथ्वीचा उत्तर ध्रुव आहे,



आणि ज्या स्थलीं पे खस्थ दक्षिण ध्रुव डोकीवर असतो, तें स्थल स आहे, म्हणून स हा पृथ्वीचा दक्षिण ध्रुव आहे. ज्या स्थलीं खस्थ ध्रुव प आणि पे क्षितिजांत दिसतात, त्या स्थलांतून जाणारें वर्तुल त र हें पृथ्वीचें विषुववृत्त आहे; ह्याची पातळी आणि आकाशाचे इ कु विषुववृत्ताची पातळी ह्या एकच आहेत, आणि इ कु वृत्त खगोलाचे जसे दोन सारखे विभाग करितें; तसें त र वृत्त भूगोलाचे दोन सारखे विभाग करितें. उत्तर ध्रुवा भोंवतालचा एक विभाग र न त हा उत्तरार्ध गोल आहे, आणि दक्षिण भूध्रुवा भोंवतालचा दुसरा विभाग त स र हा दक्षिणार्ध गोल आहे. पृथ्वीचे एका ध्रुवापासून दुसरे ध्रुवापर्यंत काढलेली जी न स रेषा ती पृथ्वीचा आंस आहे, विषुववृत्ताची पातळी ह्या आंसाचे दोन समान भाग करिते आणि त्यावर लंब असते.

५२. ह्या प्रमाणें आकाशांत जें आपण पाहतों, त्याच्या योगानें पृथ्वीची आकृति कशी आहे, हें आपणास कळतें, खस्थ विषुववृत्ता


पश्चिम गोलार्ध
पूर्व गोलार्ध
उत्तरध्रुव
पासिफिक
महासागर
दक्षिण
पासिफिक
महासागर
दक्षिण
अमेरिका
अतलांतिक
महासागर
दक्षिणध्रुव
महासागर
आस्ट्रेलिया
दक्षिणध्रुव

पासून अथवा खस्थ ध्रुवां पासून तार्‍यांचीं अंतरें मोजण्याचा जो प्रकार मागें सांगितला, त्याच प्रकारें आपण पृथ्वीचे विषुववृत्ता पासून अथवा ध्रुवां पासून पृथ्वीवरील स्थलांचीं अंतरें मोजितों, पृथ्वीचे सर्व परिघाचे संबंधानें एक स्थल दुसर्‍या स्थलाचे किंवा उत्तरेस अथवा दक्षिणेस आहे, हें आपणास तार्‍यांच्या नुसत्या वेधांनींच काढितां येतें. विषुव-वृत्तावरील कोणतेही स्थलाहून, म्हणजे ज्या स्थलीं ध्रुव क्षितिजांत असतात अशा एकी स्थलाहून निघून ज्या स्थलीं उत्तर ध्रुव क्षितिजाचे वर ४५ अंश असतो, अशा स्थलीं गेलों, तर असें खचीत समजतें, कीं आपण पृथ्वीचें विषुववृत्त आणि उत्तर ध्रुव ह्यांचे मधील अंतराचे निमें गेलों, एवढया वरून आपण किती कोश गेलों, हें आपणास समजत नाहीं खरें; तथापि इतकें खचीत समजतें, कीं आपण पृथ्वीच्या सर्व परिघाचा आठवा भाग गेलों. मागील आकृतींत आपण त स्थलाहून निघून व स्थलीं गेलों असतों; व हें स्थल र आणि न ह्या दोन स्थलांचे मध्यें आहे.

५३. पृथ्वीच्या सर्व परिघाचे संबंधानें अंतरें मोजण्याची वर सांगितलेली रीति व्यवहारांत बराबर योजितां यावी, म्हणून आकाशां-तील वर्तुलां प्रमाणें पृथ्वीच्या परिघाचे बराबर ३६० भाग केले आहेत. त्या प्रत्येक भागास अंश म्हणतात; म्हणून पृथ्वीच्या कोणत्याही एका ध्रुवा पासून विषुववृत्तापर्यंत अंतर एक वर्तुलपाद म्हणजे ९० अंश आहे. विषुववृत्ता पासून कोणतेही स्थलापर्यंत जें अंतर त्यास त्या स्थलाचें विषुववृत्तांतर किंवा अक्षांश म्हणतात. विषुववृत्तावर विषुव-वृत्तांतर शून्य असतें, आणि ध्रुवाशीं तें ९० अंश असतें. इतली देशांतील पो नदीच्या कांठचे एका स्थलावरून आकाशाचा उत्तर ध्रुव क्षितिजा पासून सुमारें ४५ अंश वर दिसतो; म्हणून त्या स्थलाचें उत्तर विषुववृत्तांतर ४५ अंश आहे. इजिप्तांतील एका पिरमिदा वरून उत्तर ध्रुव क्षितिजाचे वर ३०° दिसतो, म्हणून त्या पिरमिदाचें उत्तर विषुववृत्तांतर ३०° आहे. नार्वेच्या राजधानी जवळचे एका स्थला वरून उत्तर ध्रुव क्षितिजाचे वर साठ अंश दिसतो; म्हणून त्या

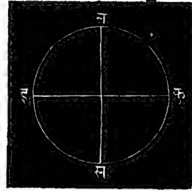
स्थलाचें उत्तर विषुववृत्तांतर ६० अंश आहे. **चिली** देशांत **कोकिंबो** म्हणून एक गांव आहे, तेथें दक्षिण ध्रुव क्षितिजाचेंवर ३० अंश दिसतो; म्हणून त्या गांवाचें दक्षिण विषुववृत्तांतर ३० अंश आहे. **आफ्रिके**च्या पूर्व कांठावर **सोफाला** म्हणून एक बंदर आहे, तेथें दक्षिण ध्रुव क्षितिजाचे वर २० अंश दिसतो; म्हणून त्या बंदराचें दक्षिण विषुववृत्तांतर २० अंश आहे. ह्या रितीनें पृथ्वीवरील प्रत्येक स्थलाचें विषुव वृत्तांतर काढितां येतें.

५४. जर एकादें स्थलाचें विषुववृत्तांतर दुसऱ्या एकादे स्थलाचे विषुववृत्तांतरा पेक्षां एक अंशानें अधिक आहे, आणि त्या दोन स्थलांचे मध्यें अंतर अमुक कोश आहे, असें अपणास समजलें, तर पृथ्वी भोंवतीं, प्रदक्षिणा केल्यानें किती मैल होतील हें अपणास समजेल, म्हणजे पृथ्वीच्या सर्व परिघाची लांबी आपणास समजेल. आलीकडे दीनशें वर्षांत भिन्न भिन्न देशीं (महद्वृत्ताच्या*) एका अंशांत किती मैल असतात, हें मोजून पाहिलें, त्या वरून असें समजण्यांत आलें आहे, कीं एका अंशांत ६९$\frac{१}{१०}$ मैल असतात; म्हणून पृथ्वीचा सर्व घेर सुमारें २५००० मैल आहे. **कुमारी केप** ८ अंश उत्तर विषुववृत्तांतरावर आहे, आणि **हिमालयाचें** एक टोंक ३५ अंश उत्तर विषुववृत्तांतरावर आहे, म्हणून **हिंदुस्थाना**ची लांबी २७ अंश म्हणजे ११८० मैल आहे. (पृथ्वीचा नकाशा पहा.)

५५. विषुववृत्तांतराचे एका अंशांत किती मैल असतात, हें समजण्या करितां कितीएकांनीं विषुववृत्ताचे जवळील प्रदेशांत, आणि कितीएकांनीं ध्रुवांचे जवळील प्रदेशांत एक एक अंश जमीन मोजून पाहिली, त्यावरून असें समजण्यांत आलें आहे, कीं ध्रुवांचे जवळील एका अंशाची लांबी विषुववृत्ताचे जवळील एका अंशाचे लांबी पेक्षां अधिक आहे. जर पृथ्वी अगदीं वाटोळी असती म्हणजे बराबर गोल असती, तर सर्व ठिकाणीं विषुववृत्तांतराच्या अंशांची लांबी एकसारखी

* ज्या वृत्तानें गोलाचे बरोबर दोन विभाग होतात, त्या वृत्तास महद्वृत्त म्हणावें, जसें विषुववृत्त, क्रांतिवृत्त, याम्योत्तरवृत्त इत्यादि.

असती परंतु ती तशी नाहीं, ह्यावरून हें उघड आहे, कीं पृथ्वी बराबर गोल नाहीं तर ध्रुवांकडे थोडीशी चापट आहे; म्हणून एका ध्रुवापासून दुसऱ्या ध्रुवापर्यंत अंतर विषुववृत्तावरील समोरा समोरच्या कोणत्याही दोन स्थलांचे मधील अंतरा पेक्षां कमी भरतें. ह्या आकृतींत दोन ध्रुवांचे मधील रेषा **न स** ही विषुववृत्ताचे **इ कु** व्यासा पेक्षां कमी भरते; आणि गणित करून असें समजलें आहे, कीं **न स** रेषेची लांबी ७८९९ मैल आहे, आणि **इ कु** रेषेची लांबी ७९२५$\frac{१}{२}$ मैल आहे,



म्हणजे **इ कु** रेषा **न स** रेषेहून २६$\frac{१}{२}$ मैल लांब आहे. पृथ्वी सारखे मोठे पदार्थास हें अंतर फार क्षुल्लक आहे. हें अंतर सूक्ष्म मापनानें दृष्टीस पडतें एवढेंच नाहीं, तर कांहीं चमत्कारिक गोष्टींनींही हें लक्ष्यांत येतें.

५६. ह्या प्रकारें, प्रथमतः खस्थ पदार्थांचे वेध घेतल्यानें आणि मग जमीन मोजल्यानें आपणास पृथ्वीच्या सर्व पृष्ठाचें मान काढितां येतें.

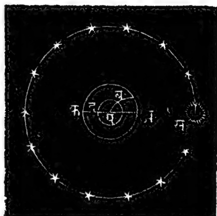
पूर्वेकडे अथवा पश्चिमेकडे गेल्यानें होणारीं भिन्न दर्शनें.

५७. जर पृथ्वी अगदीं सपाट असती, तर आपणास पृथ्वीचे सर्व भागीं खस्थ पदार्थांची स्थिति एक सारखीच दिसती; ध्रुवाची उंची एक सारखीच असती आणि ताऱ्यांचे उदयास्त काल बदलले नसते; परंतु उत्तरेकडे अथवा दक्षिणेकडे गेल्यानें खस्थ पदार्थांचे दृश्यमान स्थितींत जो फेरफार होतो, त्यावरून आपण सरल रेषेनें जात नाहीं, तर वर्तुल रेषेनें जातों, असें मानणें भाग पडतें. पूर्वेकडे अथवा पश्चिमेकडे आपण गेलों, तरीही आपण वर्तुल रेषेनेंच जातों, असें पुढील कलमा वरून स्पष्ट होईल. ह्या दोन गोष्टींवरून पृथ्वी सर्वत्र गोलाकार आहे, असें सिद्ध होतें.

५८. आपण उत्तरेकडे अथवा दक्षिणेकडे न वळतां थेट पूर्वेकडे बरेंच लांब गेलों, तर आपणास असें दिसतें, कीं ध्रुवोन्नति आणि

भचक्राचे आंसाचा कल ज्या स्थलाहून आपण निघालों, त्या स्थलीं जितका होता, तितकाच असतो. तारे आकाशांत जितके उंचीवर त्या स्थलीं येत होते, तितकेच उंचीवर ह्या स्थलींही येतात; आणि ते क्षितिजाचेवर जितका काल त्या स्थलीं राहत होते, तितकाच काल ह्या स्थलींही राहतात; परंतु आपण ज्या स्थलाहून निघालों, त्या स्थलाचा बराबर वेळ दाखविणारें एक घड्याळ आपणा बरोबर आणिलें असतां त्यावरून आपणास असें समजतें, कीं **सूर्य** आणि तारे ह्यांचे उदय, अस्त, आणि याम्योत्तरोल्लंघनें पूर्वींचे पेक्षां फारच आधीं होतात. आपण अधिक अधिक पुढें चाललों, तर ही गोष्ट आपले दृष्टीस अधिक अधिक पडते. जर आपण **पुण्याहून** निघून पूर्वकडे **ब्रह्मदेश, कांबोज देश** आणि **आसाम देश** ह्यांतून जाऊन **चीन** समुद्रांतील **हेनान** बेटांत गेलों, तर आपणास असें आढळतें, कीं सर्व खस्थ पदार्थांचे उदय, मुख्य याम्योत्तरोल्लंघनें, आणि अस्त हीं **पुण्यांतलें** पेक्षां $२\frac{१}{२}$ तास आधीं होतात, जर **पुण्याहून** निघून पश्चिमेकडे **आरबी समुद्र, आरबस्तान**, आणि **आरबी आखात** ह्यांतून जाऊन **आफ्रिकेंत** गेलों; तर वरच्याचें उलट घडतें; म्हणजे खस्थ पदार्थांचे उदयास्त मागून होतात. **नैजर** नदीच्या कांठीं **तिंबकतू** म्हणून जें एक शहर आहे त्यांत **सूर्य** दररोज **पुण्यांतले** पेक्षां सुमारें पांच तास मागून उगवतो. **पुण्यांत** जेव्हां बारांवर तीन वाजतात (म्हणजे **सूर्य** याम्योत्तरीं आल्यावर तीन तास होतात) तेव्हां तेथें सकाळचे दहा वाजतात (म्हणजे **सूर्य** मुख्य याम्योत्तरीं येण्यास दोन तास अवकाश असतो). **उत्तर अमेरिका** खंडांत **मेक्सिको** शहराचे नैरृत्येस **मेक्सिको** देशाचे पश्चिम कांठीं एक स्थल आहे. तेथें जेव्हां मध्य रात्र होते, तेव्हां **पुण्यांत** मध्यान्ह होतो. ही गोष्ट घडण्यास त्या स्थलीं राहणाऱ्यांस आकाशाचा जो अर्ध गोल दिसतो, तो आपणास दिसणाऱ्या आकाशाचे अर्ध गोलाचे समूर असला पाहिजे. म्हणजे आपलें जें खस्वस्तिक आहे, तें त्यांचें अधःस्वस्तिक असलें पाहिजे, ह्या सर्व गोष्टींवरून पृथ्वी पूर्वापर दिशेनें देखील वाटोळी आहे; सपाट नाहीं, हें सिद्ध होतें.

५९. ह्या आकृतींत **अ ब क** ही पृथ्वी आहे, **प** हा तिचा ध्रुव आहे, आणि **अ ब** ही तिची पूर्वापर रेषा. आहे. आतां, जर **अ** स्थलींचा पाहणारा आपले आकाशांत **स सूर्यास** डोकीवर पाहतो, तर **ब** स्थलींचा मनुष्य आपले आकाशांत त्यास तिर्कस दिशेनें पाहील आणि **क** स्थलींचे मनुष्यास तो मुळींच दिसणार नाहीं. **अ** स्थलींचे



राहणाऱ्यांस मध्यान्ह होईल, आणि **क** स्थलींचे राहणाऱ्यांस मध्य रात्र होईल, **अ** आणि **क** ह्या दोन स्थलांपासून सारखे अंतरावर असणाऱ्या दोन स्थलींचे राहणाऱ्यांस सकाळचे अथवा संध्याकाळचे सहा वाजतील; जर तें मधलें स्थल **अ** स्थलाचे पूर्वेस असेल, तर त्या स्थलीं संध्याकाळचे सहा वाजतील, आणि पश्चिमेस असेल तर त्या स्थलीं सकाळचे सहा वाजतील. पाहणारा ध्रुवा जवळ असो, अथवा विषुववृत्ता जवळ असो, तथापि ह्याच गोष्टी त्याचे दृष्टीस पडतील; पाहणारा कितीही विषुववृत्तांतरावर असो, तथापि पूर्वापर फिरल्यानें कालांतील असेच भेद त्याचे दृष्टीस पडतील; परंतु ध्रुवा जवळ पृथ्वीचा घेर* कमी कमी होत गेला आहे, ह्यामुळें ध्रुवा जवळचीं पूर्वापर अंतरें कमी कमी होत जातील. विषुववृत्तावर पृथ्वीचा घेर २५००० मैल आहे; **शेटलंड** बेटांचे अक्षांतरावर पृथ्वीच्या घेर २५००० मैलांचे अर्धा इतकाच आहे; म्हणून **शेटलंड** बेटांचे पूर्वेस अथवा पश्चिमेस १०० मैल गेल्यानें कालांत जितका भेद पडतो, तितकाच कालांत भेद विषुववृत्ताचे कोणतेही स्थला पासून पूर्वेस अथवा पश्चिमेस २०० मैल गेल्यानें पडतो.

६०. विषुववृत्ताचा अथवा त्याशीं समांतर पूर्वापर वृत्ताचा जो एकादा भाग त्यास रेखांतर म्हणतात. सगळे वर्तुलांत रेखांतराचे

---

* विषुववृत्ताशीं समांतर जीं पूर्वापरवृत्तें असतात, त्यांस कोणी कोणी ग्रंथकार अक्षवृत्तें अशीं नांवें देतात.

३६० अंश असतात. एक स्थल दुसऱ्या स्थलाचे थेट पूर्वेस अथवा पश्चिमेस जितके अंश असेल तितके अंश त्या दोन स्थलांचे मध्यें रेखांतर होईल. **लंडना** पासून **सुपीरियर** सरोवरापर्यंत अंतर भूगोलपर वृत्ताचा चतुर्थांश आहे; म्हणून **लंडन** आणि **सुपीरियर सरोवर** ह्यांचे मध्यें ९० अंश रेखांतर आहे. जर एकादें स्थल दुसऱ्या स्थलाचे बराबर दक्षिणेस किंवा उत्तरेस असलें, तर त्या दोन स्थलांचीं * रेखांतरें एकच असतात, त्यांचीं विषुववृत्तांतरें मात्र भिन्न असतात. जर एकादें स्थल दुसऱ्या स्थलाचे बराबर पूर्वेस किंवा पश्चिमेस असलें, तर त्यांचीं विषुववृत्तांतरें एकच असतात; त्यांचीं रेखांतरें मात्र भिन्न असतात.

६१. कोणत्याही स्थलाचें विषुववृत्तांतर समजणें झाल्यास त्या स्थलीं खस्थ ध्रुवोन्नति किती आहे, हें समजलें म्हणजे झालें, आणि कोणत्याही स्थलाचें रेखांतर समजण्यासही खस्थ पदार्थांचे वेध करावे लागतात; परंतु रेखांतर काढणें विषुववृत्तांतर काढण्यापेक्षां कठीण आहे. कोणत्याही दोन स्थलांच्या मधील रेखांतर काढणें झाल्यास त्या दोन स्थलांचीं घड्याळें एकमेकाशीं ताडून पाहिलीं पाहिजेत, म्हणजे त्या दोन स्थलांच्या कालमापनांतील भेद काढिला पाहिजे. जेव्हां **सूर्य** याम्योत्तरीं येतो, तेव्हां घड्याळांत अवर कांटा बराबर लावतात. आतां जर **लंडनांत** लावलेलें एक घड्याळ **पारिस** शहरांत नेलें, आणि तें **पारिस** शहरांत लावलेल्या घड्याळाशीं ताडून पाहिलें, तर त्या दोन घड्याळांत ९ मिन्युटें २१$\frac{1}{2}$ सेकंद इतका भेद पडतो, हा भेद **लंडन** आणि **पारिस** ह्या शहरांच्या मधील रेखांतरा बरोबर आहे; आणि **सूर्य** २४ तासांत एक पूर्ण फेरा करितो, म्हणजे दर तासांत १५ अंश चालतो; म्हणून ९ मिन्युटें २१$\frac{1}{2}$ सेकंद इतके

* रेखांतर म्हणजे रेखेपासून किंवा रेषे पासून अंतर. येथें रेषा शब्दानें मुख्य याम्योत्तरवृत्त घ्यावयाचें, हें याम्योत्तर निरनिराळ्या ठिकाणचें घेतात. हिंदु लोक लंकेवरचें याम्योत्तर घेतात. इंग्रज लोक व फ्रेंच लोक यथानुक्रमें ग्रीनिच व पारिस ह्या गावांवरचीं घेतात.

कालांत २ अंश २२ कला आणि २२$\frac{1}{2}$ विकला इतका चालतो म्हणून, **लंडन** आणि **पारिस** ह्यांचे मधील रेखांतर २° २२′ २२$\frac{1}{2}$″ इतकें आहे.

६२. वाटेनें नेण्याजोगीं कालमापक यंत्रें फार चांगलीं केलेलीं असतात, खलाशी समुद्रांतील स्थलांचीं रेखांतरें काढण्यास त्या यंत्रांचीच योजना करितात. एकादें घड्याळ **ग्रीनिच** एथील काल समजण्यास लाविलें, तर तें कोठेंही नेलें तरी **ग्रीनिच** एथीलच काल दाखवितें; म्हणून **ग्रीनिच** एथील काल दाखविणारें एकादें घड्याळ घेऊन जर एखादा खलाशी कोणत्याही स्थलीं गेला, तर त्या स्थलीं **सूर्य** जेव्हां याम्योत्तरीं येईल तेव्हां त्यास मध्यान्ह होईल आणि त्याच वेळीं **ग्रीनिच** एथें किती वाजले हें त्यास आपले घड्याळांत पाहिल्यानें समजेल. जर त्याच वेळीं त्याचे घड्याळांत मध्यान्ह होऊन २$\frac{1}{2}$ तास झाले असतील तर तो **ग्रीनिचाचे** पश्चिमेस ३७$\frac{1}{2}$ अंश आहे; म्हणजे तो ज्या स्थलीं आहे, त्या स्थलाचे **ग्रीनिचाचे** संबंधानें पश्चिम रेखांतर ३७°, ३०′ आहे.

६३. परंतु कालमापक यंत्रें (म्हणजे घड्याळें) कितीही चांगलीं केलेलीं असलीं, तरी दूरदूरचे समुद्रपर्यटन करितांना त्यांत थोडा तरी भेद पडतोच, आणि जरी तो भेद फारच थोडा (म्हणजे थोडेसे सेकंद) असला, तरी रेखांतरांत पुष्कळ मैलांची चूक पडते. कालमापक यंत्रांवांचून रेखांतर काढण्याची एक रिती आलीकडे सुमजली आहे; परंतु खलाशी लोक बहुधां कालमापक यंत्रां वरूनच रेखांतर काढितात. आलीकडे ज्योतिःशास्त्र फार चमत्कारिक पूर्णतेस आलें आहे, त्यामुळें अमुक वेळीं **चंद्र** ग्रहण अथवा **सूर्य** ग्रहण होईल, अथवा दोन खस्थ पदार्थांची युति (म्हणजे ग्रहयुति*) होईल असें आपणास पूर्वीं सांगतां येतें, आणि पुढील कितीएक वर्षांच्या दर मिन्युटास आणि दर सेकंदास कोणत्या एका अचल ताऱ्यापासून **चंद्र**

---

* एक ग्रह दुसऱ्या ग्रहाचे अथवा अचल ताऱ्याचे आड येऊन तो दुसरा ग्रह अथवा तारा दिसेनासा झाला म्हणजे त्यास ग्रहयुति म्हणतात.

अथवा एकादा ग्रह किती दूर असेल, हेंही आपणास सांगतां येतें. एकादा अचल तारा आणि एकादा ग्रह अथवा उपग्रह ह्यांचें मधील अंतरें बराबर गणित करून पूर्वी तीन चार वर्षें काढिलीं असतात, आणि तीं ज्यांस नाविक पंचांग म्हणतात त्यांत छापिलीं असतात, आणि तीं अंतरें काढितांना जो काल घेतला असतो, तो **ग्रीनिच** एथें जी वेधशाला आहे, तींत लाविलेल्या घड्याळांतील असतो; म्हणून जर एकादे खलाशानें समुद्रांत अज्ञात स्थलीं असतां, एके दिवशीं रात्रीं **चंद्र** आणि एकादा तारा ह्यांचे मधील अंतर मोजलें (हें अंतर **चंद्रा**चे गतीमुळें फार जलद बदलतें), तर जेव्हां तें इतकेंच अंतर होतें, तेव्हां **ग्रीनिच** एथें किती वाजले होते, हें त्यास नाविक पंचांग पाहिल्यानें समजेल; आणि तो ज्या स्थलीं आहे, त्या स्थलीं त्यानें जेव्हां हें अंतर मोजिलें, तेव्हां किती वाजले होते, हें जर त्यास ठाऊक असलें, तर ह्या दोन कालाचे मधील अंतर त्या स्थलाचें रेखांतर होईल. जर वेध घेण्याचें यंत्र चांगलें असलें, आणि वेध बराबर घेतला असला, तर ह्या रितीनें कोणतेंही स्थलाचें रेखांतर अगदीं बराबर काढितां येतें.

६४. ह्या प्रकारें खस्थ पदार्थांचे वेधां वरून पृथ्वीवरील सर्व स्थलांचीं विषुववृत्तांतरें आणि रेखांतरें काढितां येतात, आणि सर्व स्थलांचीं विषुववृत्तांतरें आणि रेखांतरें समजलीं म्हणजे देश, समुद्र, नद्या, शहरें, इत्यादिकांचीं बराबर स्थानें कृत्रिम भूगोलांवर आणि नकाशांवर मांडितां येतात, आणि ते भूगोल आणि नकाशे ह्यां वरून पृथ्वीवरील कोणतेंही स्थल दुसऱ्या कोणतेही स्थला पासून किती मैल दूर आहे, हें आपणास काढितां येतें; व एका स्थलाहून दुसरे स्थलीं जाणें झाल्यास कोणत्या दिशेनें गेलें पाहिजे हेंही आपणास समजतें.

भाग दुसरा.

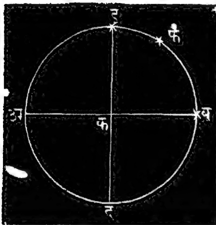
यंत्रसाधनानें सूक्ष्म वेध करण्याचा प्रकार.

६५. मागील भागांत खस्थ पदार्थां विषयीं जें सांगितलें, तें प्राचीन काळचे लोकांस माहीत होतें; हें ज्ञान प्राप्त होण्यास वेध करण्याकरितां यंत्राची विशेष गरज लागत नाहीं. ज्या यंत्रांनीं ते वेध करीत असत, तीं यंत्रें आबडधोबड असत; ह्यामुळें खस्थ पदार्थांचीं सूक्ष्म गमनें आणि त्यांतील फेरफार हीं त्यांस समजत नसत; परंतु अर्वाचीन काळचे अनुभवावरून असें समजून आलें आहे, कीं अति सूक्ष्म वेधांवांचून तारे (आणि विशेषतः चलतारे) ज्या नियमांनीं भ्रमण करितात, ते नियम कधींही काढितां आले नसते, आणि पुढें अमके वर्षाचे अमके मिन्युटास अमुक तारा अमकेच स्थलीं असेल असें कधींही सांगतां आलें नसतें; मग अर्थातच रेखांतर काढण्याची जी दुसरी रीति मागें सांगितली, ती रीति निरुपयुक्त झाली असती. खस्थ पदार्थ ज्या नियमांनीं गमन करितात, ते बराबर माहीत असल्या वांचून खस्थ पदार्थांची भावी स्थिति आपणास बराबर सांगतां यावयाची नाहीं.

६६. सूक्ष्म वेधां वरून असें समजलें, आहे, कीं प्राचीन ज्योतिःशास्त्रज्ञांनीं खस्थ पदार्थांच्या गती विषयीं ज्या कल्पना केल्या होत्या, त्यांतील बहुत्येक खोट्या होत्या. तेही असें मानीत, कीं भचक्राचें नित्य भ्रमण सदां एकसारखें आहे, व ताऱ्यांमधून सूर्य वार्षिक भ्रमण करीत असतां नियमित गतीनें चालत नाहीं; म्हणजे वर्षाचे एके वेळीं तो जें गमन करितो, त्यापेक्षां दुसरे वेळीं अधिक गमन करितो; परंतु ह्या गोष्टी घडण्याचीं त्यांस बरोबर कारणें माहीत नव्हतीं, आतां, एकादे खस्थ पदार्थाचे गमनांत कांहीं अनियमितपणा असला, तर तो समजल्या वांचून तो खस्थ पदार्थ अमुक कालीं कोठें असेल, हें आपणास आज सांगतां यावयाचें नाहीं; मग अर्थातच दुसऱ्या कोणत्या

खस्थ पदार्थांच्या कोणत्या संबंधानें त्यांचे गतींत अनियमितपणा आला आहे, हें आपणास समजण्याची अशा करणेंच नको.

६७. वेध घेतांना, पहिल्यानें, आपण खस्थ पदार्थांचीं एकमेकां-पासून व आकाशांतील मागें सांगितलेले मुख्य बिंदु आणि मुख्यवृत्तें (म्हणजे खस्थ ध्रुव, विषुववृत्त, याम्योत्तरवृत्त, क्षितिज, इत्यादि) ह्यांपासून अंतरें मोजितों, आणि दुसऱ्यानें आपण खस्थ पदार्थास एका बिंदू पासून दुसऱ्या बिंदूस जाण्यास जे काल लागतात, ते मोजितों. हीं अंतरें अमुक कोस किंवा मैलें अशा रूपानें नसतात, तर वर्तुल भागात्मक किंवा कोणात्मक असतात. ह्यास उदाहरण. ह्या आकृतींतील वर्तु-लांत इ ब हा कौंस आकाशाचे सर्व वर्तुलाचा चतुर्थांश आहे, म्हणजे इ क ब कोन काटकोन आहे, तर इ आणि ब हे तारे एकमेका पासून ९० अंश अंतरावर आहेत, असें म्हणतात. वर्तु-लाचे भागांनीं मोजणें किंवा कोनांनीं मोजणें हीं दोनही एकच आहेत; कांकीं दोन रेषांच्या मध्यें किती कोन आहेत,

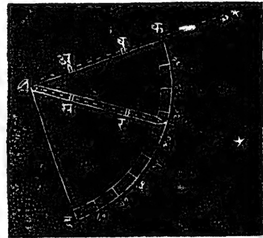


हें जाणण्या करितां त्यांच्या छेदन बिंदू पासून पाहिजे त्या त्रिज्येनें एक वर्तुल काढून त्या वर्तुलाचा जो भाग त्या दोन रेषांचे मध्यें सांपडतो, तो आपण मोजितों, म्हणून अंशात्मक मापन किंवा कोणात्मक मापन हीं एकच आहेत.

६८. एका ताऱ्याचें दुसऱ्या ताऱ्या पासून अंतर, क्षितिजापासून एकादे खस्थ पदार्थाची उंची, ध्रुवापासून त्याचें अंतर, इत्यादि मोजणें झाल्यास आपणापाशीं अशीं यंत्रें पाहिजेत, कीं त्यांच्या योगानें आप-णास कोन म्हणजे वर्तुलाचे भाग मोजतां येतील. अशा यंत्रामध्यें अगदीं साधें यंत्र म्हटलें म्हणजे *तुरीय यंत्र हें आहे; ह्या यंत्रांत

* ह्या यंत्रास इंग्रजींत क्वाद्रांत म्हणतात. क्वाद्रांत व तुरीयांश ह्या दोन्ही शब्दांचा अर्थ "चतुर्थांश" असा आहे.

फिरणारी एक पटी असते, ह्याच्या दोन बाजू सरल, एकमेकीस लंब, आणि सारखे लांबीच्या असतात; आणि ह्यांची तिसरी बाजू वर्तुलपाद असून, अंश समजण्याकरितां तिचे सारखे भाग केले असतात. (हे भाग ९, १०, १५, किंवा ३० असतात). ह्या आकृतींत अ क द ही लांकडाची सपाट फळी वर्तुलपाद आहे; अ क ह्या सरल बाजूंत अ आणि ब ह्या दोन लोखंडी चुका बसवून, त्यांस लहान लहान अडवीं आरपार भोंकें पाडलीं आहेत, म्हणून जेव्हां आपण त्या भोंकांतून एकादा तारा पाहतों, तेव्हां



अ क ही बाजू त्या ताऱ्याकडे असते: क द ह्या वर्तुलपाद बाजूचे १० अंशाचा एक असे ९ भाग केले आहेत; फिरणारी पट्टी र स हींतही दोन लोखंडी चुका बसवून त्यांस अडवीं आरपार भोंकें पाडिलीं आहेत, ह्यामुळें अ क बाजू एका ताऱ्याकडे लाविली असतां र स पट्टीचे चुकांतून दुसरा तारा पाहतां येतो. ह्या प्रमाणें कोणतेही दोन तारे पाहिल्या नंतर फिरणारे पट्टीचें टोंक वर्तुलपाद बाजूचे ज्या भागास लागेल, तितके अंश त्या दोन ताऱ्यांचे मध्यें अंतर आहे असें समजावें.

६९. खस्थ अंतरें मोजण्याच्या यंत्रांतले अवश्य भाग वर सांगितले इतकेच आहेत खरे; तथापि हें यंत्र प्रधान आहे, ह्या यंत्रानें खस्थ अंतरें अगदीं बराबर मोजतां यावीं; म्हणून ह्यांत बहुत युक्ति कराव्या लागतात. वर्तुलपादाच्या बाजूचे अगदीं बराबर भाग पाडणें, फिरणारी पट्टी बराबर बसवणें, तें सर्व यंत्र स्थिर राखणें, पट्टीच्या चुकांतून ताऱ्याकडे बराबर पाहणें, आणि वर्तुलपादाच्या बाजू वरील अंश पाहणें, ह्या गोष्टी यथास्थित होण्या करितां फार जपावें लागतें. आणखीं, वातावरणांत फेरफार झाला असतां, म्हणजे त्यांतील उष्णता वगैरे कमी ज्यास्त झाली असतां, त्यापासून बराबर वेध होण्यास

दुसऱ्या कित्येक अडचणींत ही एक अडचण उत्पन्न होते, कीं कोण-त्याही द्रव्याचें यंत्र केलें असलें तरी वातावरणांतील उष्णता वगैरे कमी ज्यास्त झाल्यानें त्या यंत्राचें आकारमान वगैरे बदलतें. आणि वेधांत तफावत पडते.

७०. खस्थ पदार्थांचे गमनाचा काल प्राचीन कालीं छायायंत्र* आणि घटिका † ह्यांचे योगानें काढीत. आतां आंदोलकाच्या हेल-काव्यांनीं चालणाऱ्या घड्याळांचे योगानें अथवा ज्यांत पोलादाची कमान आंदोलकाचें काम करिते, अशा लहान घडाळ्यांच्या योगानें काढितात.

७१. कालमापक यंत्रांतील मुख्य गुण त्यांची गति एकसारखी असणें हा आहे. भ्रमण दर तासास चार मैल चालतों, असें जर एकादे मनुष्यास माहीत आहे, तर आपण किती वेळ चालत आहों, हें त्यास मैलांच्या धोंडयांवरून सांगतां येतें; असेंच, जर एकादी गोगलगाय दर तासास तीन फूट ह्या प्रमाणानें एका तक्त्यावरून चा-लत आहे, तर ती किती फूट चालली, हें मोजल्यानें ती किती वेळ चालत आहे, हें आपणास पाहिजे तेव्हां सांगतां येईल; परंतु ह्या पृथ्वीवर सतत एकसारखी अशी एकाही पदार्थाची गति दृष्टीस पडत नाहीं; आपणास जी काय नियमित गति माहीत आहे, ती भचक्राचें नित्य भ्रमण ही आहे. हजारों वर्षांच्या वेधांवरून असें समजलें आहे, कीं उगवल्या पासून पुनः उगवे पर्यंत अथवा मावळल्या पासून पुनः मावळे पर्यंत प्रत्येक अचल ताऱ्यास सदां सारखाच काल लागतो; कधींही अधिक उणा काल लागत नाहीं. तर मग, कालगतीचें हें बरा-बर प्रमाण आपणास सांपडलें आहे, आणि व्यवहारांत ह्याचा उपयोग

* तुरीय यंत्रासच छायायंत्र म्हणतात, कारण दोरीच्या छायेवरून त्या यंत्रानें कालज्ञान होतें.

कालमापन करण्याची गरज पडते, तेव्हां इकडील जोशी अद्यापि ह्या व पुढील अशा दोन यंत्रांचे योगानें कालमापन करितात.

† घटका म्हणून जोश्यांपाशीं धातूचें एक पात्र असतें, त्याच्या योगानें ते स्वप्न मुंजींच्या वेळेस विवक्षित काळ काढितात; हें सर्वांस ठाऊकच आहे.

करितां यावा, म्हणून ज्यांचे योगानें अचल ताऱ्यांचीं गमनें बरोबर समजतील अशीं यंत्रें आपणास पाहिजेत. कालगति समजण्या करितां ताऱ्यांचें उगवणें अथवा मावळणें घेत नाहींत, तर याम्योत्तर उल्लंघणें घेतात. अगदीं बरोबर याम्योत्तर वृत्ताकडे (म्हणजे आपण विषुववृत्ताचे उत्तरेकडे असलों तर उत्तरेकडे आणि दक्षिणेकडे असलों तर दक्षिणेकडे) लावून ठेविलेल्या यंत्रानें खस्थ पदार्थांचे याम्योत्तर गमनाचा वेध करितात.

७२. अशा दक्षिणोत्तर लावून ठेविलेल्या यंत्रांतून एकच तारा दोन वेळ पाहिल्यानें आपणास नाक्षत्र दिवसाचें बरोबर मान समजेल. (हें मान २३ अवर ५६ मिन्युटें ४·००९ सेकंद इतकें आहे); आणि भिन्न भिन्न वेळांनीं मुख्य याम्योत्तरीं येणारे अनेक तारे त्या यंत्रांतून पाहिल्यानें अहोरात्राच्या पुष्कळ नियमित वेळा आपणास कळतील; पाहिजे तेव्हां आपणास तारे दिसत असल्यास केवळ तारे पाहिल्यानें आपणास दर तासाचें अथवा अर्धे तासाचें बरोबर ज्ञान होईल.

७३. परंतु तास समजण्या करितां क्षणोक्षणीं आकाशाकडे पाहणें, हें फार त्रासदायक आहे; म्हणून ह्या पृथ्वीवर कालमापक यंत्रें करून त्यांस एकसारखें सतत चालण्याची गति जितकी देतां येते तितकी देतात, आणि कधीं कधीं ताऱ्यांच्या गमनांचे वेध घेऊन ती गति चुकली असल्यास दुरुस्त करितात. वेधशाळांत जीं घड्याळें असतात, त्यांतील एक दिवस ताऱ्यांचे एका दिवसा बरोबर असतो, सूर्याचे एका दिवसा बरोबर असत नाहीं; म्हणून त्यास नाक्षत्र घड्याळें म्हणतात; परंतु व्यवहारांतील कृत्यें सूर्याचे प्रकाशावर (म्हणजे दिवसास) चालतात; म्हणून सौर दिवस घेतात, आणि तो बरोबर समजण्या करितां सूर्य याम्योत्तरीं केव्हां येतो, हें पाहतात; परंतु सूर्याचें याम्योत्तरीं येणें अचल ताऱ्यांचे येण्या प्रमाणें सदां सारखें नसतें; म्हणून सूर्याचे अनियमितपणामुळें किती संस्कार करावा हें समजल्या वांचून, त्याचे वेधानें घड्याळें आपणास बरोबर करितां येत नाहींत. अलीकडे हे संस्कार बरोबर माहीत झाले आहेत, व ते इंग्रजी पंचांगांत लिहिले असतात. त्या पंचांगांत जागोजागीं असें लिहिलेलें असतें, कीं घड्याव

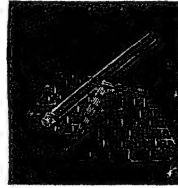
इतक्या मिन्युटांनीं जलद किंवा मंद आहे; म्हणजे सूर्य त्या त्या दिवशीं बरोबर बारा वाजतांच याम्योत्तरीं येत नाहीं; तर बारा वाजण्याचे पूर्वीं अथवा नंतर कांहीं मिन्युटांनीं येतो.

७४. पृथ्वीवरील पदार्थांच्या ज्या गति आपणास माहीत आहेत, त्या सर्वांत आंदोलकाचें हेलकावणें मात्र विशेष नियमित आहे; म्हणजे आंदोलकाचें हेलकावणें लांब असो अथवा नसो; परंतु त्याचे प्रत्येक हेलकावण्यास नेहमीं एकसारखाच काल लागतो. म्हणून उत्कृष्ट आणि अगदीं साधीं अशीं घड्याळें म्हटलीं म्हणजे तीं होत, कीं ज्यांत आंदोलक हेलकावे घेत असतो, आणि त्याचे हेलकाव्यांची संख्या दाखविली असते, यंत्राचे घर्षणामुळें, आणि उष्णता व थंडी ह्यांचे फेरफारांचे योगानें आंदोलकाचे लांबींत फेरफार होतो, ह्यामुळें ह्याही घड्याळांत थोडीशी चूक पडते; परंतु चांगल्या कुशल कारागिराचे हातून घड्याळें करविल्यानें पहिली अडचण दूर करितां येते; आणि दुसरी अडचण दूर करण्या करितां आंदोलक ज्या पदार्थास टांगतात, तो पदार्थ लोखंड व जस्त ह्या दोन द्रव्यांचा करितात; ह्यामुळें तो पदार्थ उष्णतेच्या योगानें जितका खालीं वाढतो तितकाच वर वाढतो, आणि थंडीच्या योगानें जितका खालून आंकुचित होतो तितकाच वरून आंकुचित होतो. सांप्रत ह्या युक्तींनीं घड्याळें इतकीं चांगलीं करितात, कीं त्यांत एका वर्षांत एक दोन सेकंदांपेक्षां अधिक चूक पडत नाहीं; परंतु ज्यांत आंदोलक असतो, अशीं हीं घड्याळें समुद्रांत शुद्ध राखितां येत नाहींत; म्हणून बहुत मेहनतीनें आणि कौशल्यानें, सांप्रत धाकटीं घड्याळें इतकीं चांगलीं करितात, कीं त्यांत एका उभ्या वर्षांत देखील फार सेकंदाची चूक पडत नाहीं. व्यवहारांतील सामान्य कृत्यांस साधारण कौशल्यानें केलेलीं घड्याळें चालतात.

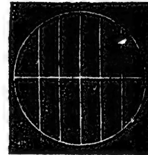
७५. खस्थ पदार्थांचीं याम्योत्तरोलंघनें पाहण्या करितां, जें यंत्र घेतात, त्यास याम्योत्तरदर्शक* यंत्र म्हणतात. ह्या यंत्रांत एक

* ह्या यंत्रास इंग्रजींत "ट्रांजित इंस्त्रुमेंत" म्हणजे उल्लंघन यंत्र असें म्हणतात.

नळी असते, आणि तींत भिंगें बसवून तिची दुर्बीण करितात, आणि दोन भक्कम दगडांवर एक आंस ठेवून त्यावर ती नळी फिरती बसवितात; ह्यामुळें ती वर खालीं करितां येते. ती नळी बराबर उत्तर दक्षिण लावितात, म्हणजे ती अशी लावितात, कीं ती फिरविली असतां याम्योत्तर वृत्तांतून फिरेल, आणि आंस तिला लंब, म्हणजे बराबर पूर्वपश्चिम असून क्षितिजाचे पातळींत राही असा ठेवितात; आणि त्यांचीं टोकें अगदीं वाटोळीं आणि एकमेकाचे बराबर करितात. सारांश, ती नळी वर खालीं फिरविली असतां मुख्य याम्योत्तर वृत्तांतच फिरेल अशी तजवीज ठेवितात. यंत्र बराबर लावितां यावें म्हणून आंसाचे पायांपैकीं एक पाय मळसूत्रानें फिरता करितात. वेध घेण्याचे



अगोदर एकादी काठी किंवा निशाण बराबर उत्तरेस किंवा दक्षिणेस कांहीं अंतरावर उभें करून त्याचे योगानें हें यंत्र बराबर लावितात. नळी याम्योत्तर वृत्तांत बराबर लागावी; म्हणून नळींतील डोळ्या जवळचे भिंगाचे फोकसांत (म्हणजे ज्या बिंदूंत किरण येऊन मिळतात, त्या बिंदूंत) पांच उभे दोरे अथवा केंस लावतात; आणि आडवा एक केंस त्यांचे बराबर मध्यांत लावतात. हे केंस असे बराबर लावितात, कीं जेव्हां दुर्बीण बराबर दक्षिणोत्तर लागते, तेव्हां मधला उभा केंस बराबर याम्योत्तर वृत्तांत असतो; आणि ज्या वेळीं तारा,



सूर्य, किंवा चंद्र याम्योत्तरीं येतो, त्याच वेळीं तो या मधले उभे केंसांतून जातांना दृष्टीस पडतो, आणि त्याच वेळीं घड्याळांत किती वाजले हें पाहतात, म्हणजे वेध पूर्ण होतो; परंतु वेधकाल अगदीं बराबर समजण्या करितां तो तारा पांच केंसांतून प्रत्येक केंसांत कोण

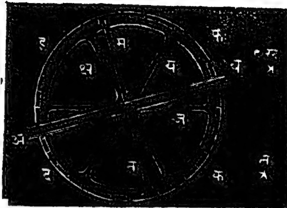
कोणत्या वेळीं येतो, हें पाहतात, आणि मधले केंसांत ज्या वेळीं येतो तो न घेतां, ह्या पांच भिन्न भिन्न वेळांचें मध्यम प्रमाण घेतात.

७६. याम्योत्तरदर्शक यंत्र आणि नाक्षत्र घड्याळ ह्यांचे योगानें दोन खस्थ पदार्थांच्या विषुवांतरांतील भेद, म्हणजे एक खस्थ पदार्थ दुसऱ्या खस्थ पदार्थाचे पूर्वेस किंवा पश्चिमेस किती अंश आहे, हें समजतें. भचक्र सदां एकसारखें फिरतें; म्हणून एकादा खस्थ पदार्थ याम्योत्तरीं आल्या पासून दुसरा एकादा याम्योत्तरीं येईपर्यंत जो काल जातो, तो ह्या दोघांचे विषुवांतरांतील भेदाबराबर असतो. उदाहरणार्थ, जर चंद्र सहा वाजतां याम्योत्तरीं आला, आणि गुरु दहा वाजतां आला, तर ह्या चार तासांचे अंतरावरून असें समजतें, कीं त्या दोहोंचे मध्यें अंतर वर्तुलाचा साहवा भाग, म्हणजे त्या दोहोंचे विषुवांतरांतील भेद ६० अंश आहे. आतां, जेव्हां मुख्य संपात बिंदु याम्योत्तरीं येतो, तेव्हां नाक्षत्र घड्याळांतील अवरकांटा शून्यावर म्हणजे चोविसांवर असतो; तर कोणताही एकादा तारा याम्योत्तरीं असतां, त्या नाक्षत्र घड्याळांत जितके तास वाजतील तितके तास त्या ताऱ्याचें बराबर विषुवांतर होईल.

७७. वर सांगितलेल्या रीतीनें ताऱ्याचें विषुवांतर मात्र समजतें. ताऱ्याचें स्थान बराबर समजण्यास त्याचें विषुवांतर आणि ध्रुवांतर अथवा क्रांति हीं समजावीं लागतात. ज्या यंत्रांत अंश मांडिलेलें वर्तुल अथवा वर्तुलपाद असतो, अशीं यंत्रें ध्रुवांतर मोजण्यास लागतात. ध्रुवांतर मोजण्यास जें यंत्र बहुतकरून घेतात, त्यास *म्युरल

* म्युरल सर्कल हा इंग्रजी शब्द आहे, ह्याचा अर्थ भित्तिवर्तुल आहे. हें यंत्र दगडांचे भिंतींत घट्ट बसवावें लागतें, ह्मणून ह्यास हें नांव पडलें आहे.

सर्कल असें म्हणतात. ह्या यंत्रांत एक पितळेचें चाक असतें, आणि त्याच्या परिघाच्या एका अंगावर अंश दाखविले असतात, व चाकाच्या आंसावर, याम्योत्तरदर्शक यंत्रांतील दुर्बिणी प्रमाणें एक दुर्बीण बसवून ती त्या भोंवतीं फिरती ठेवितात. ह्या आकृतींत, अंश दाखविलेलें **इ फ क द** हें पितळेचें चाक आहे. त्याचे मध्यांत वाटोळें एक भोंक पाडून त्यांत



एक आंस घट्ट बसविला आहे आणि तो **अ ब** दुर्बिणी सहवर्त्तमान फिरता ठेविला आहे, **अ ब** दुर्बीण त्या चाकाचे पातळीशीं समांतर, म्हणजे आंसावर लंब ठेविली आहे, आणि दुर्बिणीशीं काटकोन करणारे **म न** हे दोन भुज ती आणि आंस ह्यांशीं लागलेले आहेत. म्हणून आंस फिरविल्यानें दुर्बीण आणि भुज हीं **इ फ क द** वर्तुला भोंवतीं हळू हळू फिरतात, आणि खिळीचे योगानें, तीं पाहिजे त्या बिंदूंत स्थिर करितां येतात. मग **अ ब** दुर्बीण याम्योत्तर वृत्तांत फिरे, असें **इ फ क द** चाक ठेवून घट्ट बसवितात. हें केल्यावर दुर्बिणींतून खस्थ ध्रुव पाहून ती खीळ फिरवून स्थिर करितात आणि **म** भुजाचें टोंक चाकाचे परिघास जेथें लागतें, तेथें पाहून अंश, कला, विकला काढितात. ही अंशात्मक संख्या काढिल्यावर खीळ काढून घेऊन, आंस फिरवितात आणि दुर्बिणींतून **त** इष्ट खस्थ पदार्थ पाहून ती खिळीनें पुनः स्थिर करितात; आणि पूर्ववत् अंश, कला, विकला पाहतात. तर मग हें उघड आहे, कीं ह्या प्रकारें काढिलेल्या दोन अंशात्मक संख्यांत जी मोठी असेल तींतून धाकटी वजा केली, तर बाकी **त** च्या ध्रुवांतरा बराबर होईल. जर **स** आणि **त** ह्यांचे मधील कोणात्मक अंतर

५० अंश असेल, तर हें त चें ध्रुवांतर होईल, आणि त्याची क्रांति म्हणजे विषुववृत्ता पासून अंतर ४० अंश होईल. ह्या करितां दुर्बिणीं-तून कोणताही तारा पाहिल्यानें आणि ते वेळेस नाक्षत्र घड्याळांत किती वाजले, हें पाहिल्यानें त्याचें विषुवांतर आणि क्रांति हीं एकदम काढितां येतील; आणि ह्या प्रमाणें एकाच वेधानें त्या ताऱ्याचें स्थान निश्चित करितां येईल. आतां जर चाकाची पातळी कोणत्याही दोन अचल पदार्थांतून जाई असें तें घट्ट बसवून वरचे प्रमाणेंच प्रत्येक पदार्थ दुर्बिणींतून पाहून दोन अंशात्मक संख्या आणल्या आणि त्या संख्यांचें अंतर काढिलें, तर तें त्या पदार्थांच्या मधील अंशात्मक अंतर होईल. ह्या प्रकारें कधींमधीं ह्या यंत्रानें दोन ताऱ्यांच्या मधील अंशात्मक अंतर काढितात.

७८. यंत्रांनीं सूक्ष्मवेध घेण्यास तीन गोष्टींची अवश्यकता आहे. १ ली, दुर्बीण इष्ट पदार्थाकडे बराबर लावितां आली पाहिजे. २ री, अंश अति सूक्ष्म असून बराबर काढितां आले पाहिजेत, ते असे, कीं प्रत्येक अंश सर्व परिधीचा बराबर ३६० वा भाग असावा. ३ री, जेव्हां अंशदर्शक भुज परिधी वरील अंशाच्या रेषां पैकीं दोन रेषांच्या मध्यें असतो, तेव्हां अंशाचा बराबर भाग समजेल अशी कांहीं युक्ति पाहिजे. इष्ट पदार्थ ज्या बिंदूंत असतो, तोच बिंदु दुर्बिणींतून दिसण्या करितां तींत एकमेकास लंब असे दोरे अथवा केंस लावितात. दुसऱ्या गोष्टीविषयीं, म्हणजे परिधावर अंशांच्या खुणा दाखविण्या विषयीं म्हटलें तर, हें काम हस्तकौशल्याचें आहे; आणि हस्तकौशल्य तर हल्लीं युरोपांत फार पूर्णावस्थेस जाऊन पोंचलें आहे. अंशदर्शक भुज पाहून अंशाचा उपविभाग सेकंद पर्यंत बराबर कळण्या करितां अंशदर्शक भुजाचे टोंकाशीं एक दुहेरी सूक्ष्म-दर्शक यंत्र बसविलें असतें, आणि त्यांत एकमेकास लंब असे दोन दोरे किंवा केंस असून त्यांचे छेदन बिंदूंत अंशदर्शक भुजाचें टोंक असतें. आतां जर हा छेदनबिंदु परिधा वरील अंशाच्या रेषेवर न येतां दोन रेषांचे मध्यें येईल, तर अंशदर्शक भुजाचें मळसूत्र फिरवून हा

छेदनबिंदु अतिसंनिध अंशरेषेवर आणितात; आणि मळसूत्राचे फेरे आणि फेऱ्याचा अपूर्ण भाग हे मोजितात; म्हणजे ह्यांपासून अंशाचा उपविभाग अगदीं बराबर समजतो. असें मानूं, कीं तो छेदनबिंदु ७२ वे अंशाची रेघ आणि ७३ वे अंशाची रेघ ह्यांचे मध्यें आहे, आणि अंशदर्शक भुज फिरवण्याचें मळसूत्र इतकें सूक्ष्म आहे, कीं त्याचे १२० फेरे अंशदर्शक भुज अंशाचे एके रेघेपासून दुसरे रेघेपर्यंत जाण्यास लागतात; आतां ७२ वे अंशाचे रेघेवर भुजाचें टोंक येई पर्यंत ३८$\frac{1}{3}$ मळसूत्राचे फेरे झाले, तर हें उघड आहे, कीं तो छेदन बिंदु ७२ वे अंशाचे रेघेचे पलीकडे १९ कला आणि १० विकला गेला होता, म्हणजे अंशात्मक अंतर ७२° १९′ १०″ इतकें आहे. जीस **वर्नियर स्केल** म्हणतात, त्या युक्तीनेंही अंशाचा उपविभाग सेकंद पर्यंत बराबर समजतो.

७९. **म्युरल सर्कल** ह्या यंत्रानें क्रांति आणि ध्रुवांतर हीं समजण्याचे अगोदर स्वस्थ ध्रुव बिंदु अगदीं बराबर समजला पाहिजे. आतां जर ध्रुव बिंदूंत एकादा तारा असता, तर तो बिंदु सहज समजता; परंतु त्या बिंदूंत कोणताही तारा नाहीं; म्हणून तो बिंदु ताऱ्यांचे नित्य भ्रमणवृत्तांचा मध्यबिंदु बराबर शोधून काढिल्यानें मात्र समजतो. हा मध्यबिंदु समण्या करितां याम्योत्तरवृत्त समजलें पाहिजे. ताऱ्यांचीं अत्युच्च आणि अतिनीच स्थानें समजलीं असतां, त्यांवरून याम्योत्तरवृत्त समजतें, आणि तारा अत्युच्च स्थानीं आल्यापासून अतिनीच स्थानीं जाई पर्यंत जो काल जातो, तो सर्वदां अर्धनाक्षत्र दिवसा बराबर असतो; म्हणून ताऱ्यांचीं अतिनीच आणि अत्युच्च स्थानें सहज निश्चित करितां येतात. कोणत्याही ताऱ्याचें अत्युच्च स्थान आणि अतिनीच स्थान ह्यांचे बराबर मध्यबिंदूंत स्वस्थ ध्रुव असतो, म्हणून जर ध्रुवाचे जवळचा एकादा तारा घेऊन त्याची परमाधिक आणि परमाल्प उन्नति मोजली, तर त्या दोन उन्नतींचे मध्य प्रमाणा बरोबर ध्रुवोन्नति होईल; आणि ह्या प्रकारें समजलेली ध्रुवोन्नति, आणि एकादा तारा याम्योत्तरीं असतां त्याची उन्नति ह्यांचे मधील अंतर त्या ताऱ्याचें ध्रुवांतर होईल. जर एकादा तारा याम्योत्तरीं

असतां, ध्रुवाचे खालीं १५ अंश आहे, तर १५ अंश हें त्याचें ध्रुवांतर आहे, आणि ७५ अंश ही त्याची क्रांति* आहे.

८०. क्षितिजापासून ताऱ्यांच्या उंची, अथवा खस्वस्तिकापासून त्यांचीं बरोबर अंतरें काढण्याकरितां यंत्रावर क्षितिजबिंदु दाखविणारी एक खूण असली पाहिजे; परंतु क्षितिजबिंदु समजण्याकरितां आधीं क्षितिज समजलें पाहिजे. आतां ज्या रेषेंत आकाश आणि पृथ्वी हीं एकमेकास लागलींशीं दिसतात, ती रेषा बराबर क्षितिजरेषा नसते; त्या रेषेनें आकाशाचे दोन सारखे विभाग होत नाहींत; म्हणजे आकाशाचा जो भाग आपणास दिसतो, तो आणि जो दिसत नाहीं तो, हे बराबर नसतात. डोंगर आणि उंच सखल जमीन हीं आड येऊन, ती रेषा जशी दिसावी तशी दिसत नाहीं. महा सागरामध्यें देखील पाहणारा पाण्याचे पातळीपासून कांहींसा वर असतो; म्हणून दृश्य क्षितिजानें आकाशाचे दोन सारखे विभाग होत नाहींत; ह्यास्तव खस्थ पदार्थांची उंची दृश्य क्षितिजापासून मोजीत नाहींत; तर पाऱ्यादी पदार्थांच्या पातळीवरून केलेल्या कृत्रिम क्षितिजांपासून मोजतात आणि समुद्रांत जेथें दृश्य क्षितिज घेतां येतें; तेथें दृश्य क्षितिजापासून खस्थ पदार्थांची उंची मोजून तीस पाहणाऱ्याच्या डोक्याच्या उंचीच्या प्रमाणानें संस्कार करितात. ह्या संस्कारास क्षितिजाधोगमन संस्कार म्हणतात.

८१. क्रांति आणि विषुवांतर ह्यां खेरीज दुसरीं अंतरें ज्या यंत्रांनीं मोजतात त्यांस मिश्र यंत्रें म्हणतात. मिश्र यंत्रानें क्षितिजापासून ताऱ्याची उंची म्हणजे त्याची उन्नती, आणि उत्तर, दक्षिण, पूर्व आणि पश्चिम ह्या दिग्बिंदूंचे† संबंधानें त्याची दिशा म्हणजे दिक्कोन हीं एक-

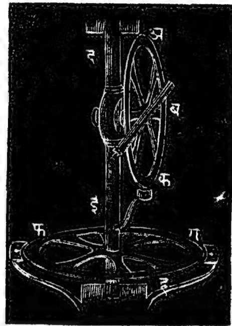
---

* क्रांति ९०° हून अधिक झाली ह्मणजे तिचा सप्लिमेंट घेतात, ह्मणजे जर क्रांति १०५° असली, तर ७५° (१८०°—१०५°) घेतात.

† खस्थ उत्तर ध्रुवाकडे तोंड करून उभें राहिलों असतां, याम्योत्तर ज्या बिंदूंत क्षितिजास कापतें सें दिसतें, त्या बिंदूस उत्तर दिग्बिंदु ह्मणतात आणि ह्या वरून इतर बिंदु समजतात.

दम मोजतात. उत्तर दिग्बिंदू पासून अथवा दक्षिण दिग्बिंदू पासून जेव्हां दिक्कोन मोजतात, तेव्हां त्यास समा म्हणतात. आपण पृथ्वीचे उत्तरार्ध गोलांत राहतों, म्हणून हा कोन उत्तर दिग्बिंदू पासून मोजतों. जेव्हां पूर्व दिग्बिंदू पासून अथवा पश्चिम दिग्बिंदू पासून दिक्कोन मोजतात, तेव्हां त्यास अग्रा म्हणतात. जर एकादा तारा वायव्येस आहे, तर त्याची समा ४५ अंश आहे, आणि पश्चिमाग्रा ४५ अंश आहे. ज्या यंत्रानें उन्नति आणि समा मोजतात, त्या यंत्रांत अंशांकित क्षितिज समांतर आणि क्षितिज लंब अशीं दोन वर्तुलें असतात.

जसें, ह्या आकृतींत अंशांकित **अ ब क** हें वर्तुल क्षितिजावर लंब आहे, ह्याचे मध्यांत **म्युरल सर्कल** ह्या यंत्रांतील दुर्बिणी प्रमाणें, एक दुर्बीण बसवून हें वर्तुल **द इ** गजांत बसविलें आहे. **द इ** हा गज अंशांकित **फ ग ह** ह्या क्षितिज समांतर वर्तुलाचे मध्यांतून जाऊन त्यावर* लंब आहे, आणि हा फिरल्यानें **फ ग ह** हें वर्तुल फिरतें वेध घेण्याचे पूर्वीं क्षितिज समांतर वर्तुलाचे परिघांतील शून्य अंश उत्तर



दिग्बिंदूचे समूर आणून; म्हणजे शून्य अंशांतून जाणारा **फ ग ह** वर्तुलाचा व्यास उत्तर दिग्बिंदूंतून जाणारे क्षितिजाचे व्यासाशीं समांतर होई असें करून त्या अंशाचे स्थानीं **फ ग ह** वर्तुलाचे खालचे तबकडीवर एक खूण करितात, आणि दुर्बीण फिरवून ती क्षितिज समांतर लावितात, आणि अंशदर्शक भुजाचें टोंक **अ ब क** वर्तुलाचे परिघास

---

* अशा वर्तुलांत दोन तबकड्या असतात; खालची पेक्षां वरची तबकडी थोडीशी लहान असते, आंस फिरविल्यानें वरची तबकडी मात्र फिरते, खालची तबकडी फिरविण्यास सर्व यंत्र उचलावें लागतें. अंश वरचीवर मांडले असून, अंशरेषा वरचीवरून खालचीवर गेल्या असतात.

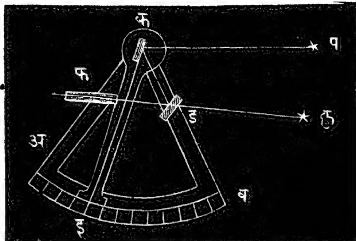
ज्या स्थलीं मिळतें त्या स्थलाचे अंश, कला, आणि विकला पाहतात. (परंतु त्या स्थलीं शून्य अंशाची रेघ असेल तर फार बरें). भग द इ आंस फिरवतात, आणि ज्या ताऱ्याचा वेध करणें असेल, त्या ताऱ्याकडे **अ ब क** वर्तुलांतील दुर्बीण लावून तींतून तो तारा पाहतात, आणि अंशदर्शक भुजावरून अंश, कला, आणि विकला आणितात, म्हणजे आणिलेल्या ह्या अंश, कला, विकला आणि पूर्वींच्या अंश, कला, विकला ह्यांजमधील अंतर त्या ताऱ्याची उन्नति दाखवितें, आणि **फ ग ह** वर्तुलाचे परिघांतील पहिली केलेली खूण आणि शून्य अंशाची रेघ, ह्यांच्यामधील अंतर त्याची समा दाखवितें.

८२. मिश्र यंत्रानें वर सांगितलेल्या प्रकारें उन्नति आणि समा हीं समजतात; म्हणून त्यास **उन्नतिसमामापक यंत्र** म्हणतात; परंतु जर त्या यंत्राचा **द इ** गज खस्थ ध्रुवाकडे लाविला, तर त्या यंत्रानें ध्रुवांतरें आणि विषुवांतरें समजतात. म्हणून अशा स्थितींत त्यास **इक्वेतोरियल* यंत्र** म्हणतात. कांहीं कालापूर्वीं हें यंत्र ध्रुवांतरें आणि विषुवांतरें मोजण्यास घेत होते; परंतु सांप्रत **म्युरल सर्कल** आणि नाक्षत्र घड्याळ हीं तीं अंतरें मोजण्यास घेतात; कांकीं **म्युरल सर्कल** ह्या यंत्रांत एकच वर्तुल असतें, आणि ह्याचे योगानें तीं अंतरें सूक्ष्म कळतात.

८३. खस्थ अंतरें मोजण्याच्या कामांत बहुत उपयोगी असें यंत्र म्हटलें तर **हादले** साहेबाचा वर्तुलपाद अथवा वर्तुल† षष्ठांश हें आहे. समुद्रांत वेध घेण्याजोगें यंत्र म्हटलें तर हें मात्र आहे; म्हणून नाविक लोक ह्याच यंत्रानें वेध करितात. ह्या यंत्रानें कोणतेही दोन

* हा इंग्रजी शब्द आहे. ह्याचा अर्थ, विषुववृत्त संबंधी.
† ह्या यंत्रास इंग्रजींत सेक्स्तंत ह्मणतात.

पदार्थातून एक पदार्थ किरणपरावर्तनानें दुसऱ्याचे जवळ दिसतो. जसें; ह्या आकृतींत अ ब हा वर्तुलाचा षष्ठांश आहे, त्याचे बराबर १२० भाग केले आहेत, क ब त्रिज्येवर ठेविलेला ड हा आरसा अ ब क वर्तुल षष्ठांशाचे पातळीवर



लंब आणि अ क त्रिज्येशीं समांतर आहे; आणि ह्याचे अर्धे भागास पारा लाविला नाहीं, म्हणून तो भाग पारदर्शक आहे. क इ ही फिरणारी त्रिज्या आहे. हिचे इ टोंकाशीं एक वर्नियर यंत्र आहे, म्हणून अंश, कला, विकला, बराबर समजतात. क इ त्रिज्येवर ठेविलेल्या क आरशाची पातळी क इ त्रिज्येच्या लांबीशीं समांतर आहे, अ क त्रिज्येवर फ ही दुर्बीण आहे. आतां आपण असें मानूं, कीं प आणि कु ह्या दोन पदार्थांच्या मधील अंशात्मक अंतर काढावयाचें आहे. तर कु पदार्थ ड आरशाचे पारदर्शक भागांतून दिसे असें हें यंत्र हातांत धरून दुर्बिणींतून तो पदार्थ पाहतात; आणि क इ त्रिज्या फिरवून प पदार्थाचे किरण क आरशावर येत असें करितात; म्हणजे प पदार्थाचे किरण प्रथमतः क आरशावर येऊन, तेथून परावर्तनानें ड आरशाचे अपारदर्शक भागावर येतात, आणि तेथून पुनः परावर्तनानें दुर्बिणींत येतात. ह्या प्रकारें दोन्ही पदार्थ दुर्बिणींतून एकदम दिसतात आणि क इ त्रिज्या फिरविल्यानें एकमेकास स्पर्श करितात आणि एकमेकास अदृश्य न करितां एकमेकावरून जातात; परंतु जेव्हां ते एकमेकास स्पर्श करितात, तेव्हां क इ त्रिज्या मळसूत्रानें बंद करितात आणि ह्या वेळीं एका पदार्थाची दिशा क प आणि दुसऱ्याची दिशा फ कु ह्यांचे मध्यें जो कोन होतो तो क अ आणि क इ ह्यांचेमधील इ क अ कोनाचे दुप्पट

होतो; कांकीं दर्शनानुशासनाचा असा एक सिद्धांत आहे, कीं जो किरण एकाच पातळींत दोनदां परावर्तन पावतो, त्याच्या पहिल्या आणि शेवटच्या दिशांचे मधील कोन परावर्तन करणाऱ्या पदार्थांच्या पातळ्यांचे मधील कोनाच्या दुप्पट असतो. आतां अ ब कौंसाचे १२० सारखे भाग केले आहेत; म्हणून प्रत्येक भाग अर्धांश आहे आणि जर प्रत्येक भाग एक अंश मानून फिरणाऱ्या त्रिज्येचें टोंक पाहून अंश, कला, आणि विकला ह्यांची संख्या काढिली, तर ती इ क अ कोनाचे दुप्पट, म्हणजे प आणि कु ह्यांचेमधील कोना बराबर होईल. ह्या प्रकारें ह्या यंत्रानें ताऱ्यांपासून, क्षितिजा पासून आणि एकमेका पासून **सूर्य** आणि **चंद्र** ह्यांचीं अंतरें काढितात.

खस्थ पदार्थांचे वेधांस जे संस्कार करावे लागतात, ते.

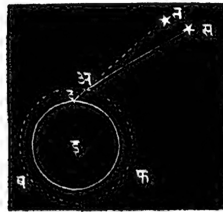
८४. असें समजण्यांत आलें आहे, कीं काल आणि अंशात्मक अंतरें हीं मोजण्या करितां कितीही उत्कृष्ट यंत्रें मिळालीं, तरी खस्थ पदार्थांचे वेध बिनचूक होत नाहींत, कांकीं खस्थ पदार्थ आपणास जेथें दिसतात, तेथें ते वास्तविक नसतात. त्यांचीं वास्तविक स्थानें दृश्य स्थानांहून भिन्न असण्याचीं जीं कांहीं कारणें आहेत, त्यां पैकीं वाय्वावरण हें एक आहे. खस्थ पदार्थांचें किरण वाय्वावरणांतून येतांना वांकडे होतात; ह्यामुळें ते ज्या स्थलीं असतात त्या स्थलाहून भिन्न स्थलीं दिसतात. ह्या परिमाणास किरणवक्रीभवन असें म्हणतात.

किरणवक्रीभवन.

८५. प्रकाशाचे गमनाचा असा सामान्य नियम आहे, कीं तो पाणी, कांच, इत्यादि पारदर्शक पदार्थांतून जातांना वांकडा होतो, म्हणून त्या पदार्थांत ज्या दिशेनें तो शिरतो, तीहून भिन्न दिशेनें तो त्या मधून बाहेर पडतो. वाय्वावरणांतून येतांना **सूर्य**, **चंद्र**, आणि तारे ह्यांचे प्रकाशावर हाच परिणाम घडतो; म्हणजे ह्यांचे किरण वाय्वावरणांत ज्या दिशेनें शिरतात, तीहून भिन्न दिशेनें त्या मधून जातात. आतां, खस्थ पदार्थ आपण ज्या दिशेनें पाहतों, त्या दिशे वरूनच काय तो आपण त्याच्या स्थानाचा निर्णय करितों; म्हणून तो स्थिर असतां त्याचे

प्रकाशाची दिशा बदलली, तर तो वास्तविक कोठें आहे, हें आपणास कोणत्याही प्रकारें समजावयाचें नाहीं. जर आपण पाण्याचे डोहांत सूर्य पाहिला, तर तो पृथ्वीचे खोल प्रदेशांत आहे, असें आपणास वाटेल.

८६. खस्थ पदार्थांचे प्रकाशावर वाय्वावरणानें जो परिणाम पडतो, तो येणें प्रमाणें. ह्या आकृतींत इ पृथ्वी आहे, आणि अ ब फ ही वाय्वावरणाची मर्यादा आहे. स ताऱ्या पासून येणाऱ्या प्रकाशाचा किरण वाय्वावरणाच्या मर्यादेवर येऊन पोंचला म्हणजे वांकडा होऊन अ द दिशेनें येतो, म्हणून पृथ्वीचे द स्थला वरून पाहणाऱ्यास असा भास होतो, कीं तो तारा त स्थलीं म्हणजे आकाशांतील स स्थलाचे वर आहे. ह्या प्रकारें सर्व खस्थ पदार्थ वास्तविक जितके असतात, त्यांपेक्षां अधिक उंच दिसतात; परंतु जे खस्वस्तिकींच असतात, ते मात्र वास्तविक उंचीपेक्षां अधिक उंच दिसत नाहींत, कांकीं खस्वस्तिक क्षितिजा पासून अत्युच्च आहे. ह्याकरितां कोणत्याही ताऱ्याच्या दृश्य उंचीवरून खरी उंची काढतां येण्यास किरणवक्रीभवनानें त्याचे स्थानांत किती भेद पडतो, तो समजला पाहिजे. आतां प्रकाशाचे सामान्य नियमावरून असें समजलें आहे, कीं प्रकाशक पदार्थ जितका सखल तितके त्याचे किरण फार वांकडे होतात, व तो जितका उंच तितके ते कमी वांकडे होतात. तसेंच तो खस्वस्तिकीं असतां त्याचे किरण मुळींच वांकडे होत नाहींत. ह्यावरून गणिताचे आधारानें, क्षितिजा पासून खस्वस्तिका पर्यंत प्रत्येक अंशास किरण किती किती वांकडे होतात, तें काढून एक कोष्टक तयार करितात.



८७. किरणवक्रीभवनाचा नियम काढण्या करितां, याम्योत्तर उल्लंघितांना खस्वस्तिकीं येईल, असा एक तारा आपण घेऊं. आतां

तो याम्योत्तरीं असतां, त्याचे स्थानांत किरणवक्रीभवनानें मुळींच फेरफार होणार नाहीं, ह्यामुळें वेधानें आपणास त्याचें खरें ध्रुवांतर समजेल. मग जेव्हां तो खस्वस्तिक सोडून खालीं जाईल, तेव्हां त्याचे भ्रमणमार्गांतील कोणत्याही स्थानाची खरी उंची गणित करून काढतां येईल; आणि वेधानें त्याची दृश्य उंची समजेल. नंतर खरी उंची वेधानें आणिलेल्या दृश्य उंचींतून वजा केली, तर किरणवक्रीभवनाचें मान समजेल. ह्या रितीनें ज्योतिःशास्त्रज्ञ उंचीचे प्रत्येक अंशास जें किरणवक्रीभवन होतें, तें काढून ठेवितात; परंतु असें पाहण्यांत आलें, आहे, कीं हें किरणवक्रीभवन सर्वदां सारखें नसतें, तर वातावरणाच्या स्थितीच्या अनुसारें हें कमी ज्यास्त होतें. ह्यामुळें किरणवक्रीभवनाचें एक कोष्टक सर्वकाळीं व सर्व ठिकाणीं उपयोगीं पडण्या सारखें तयार करतां येत नाहीं. ह्याकरितां, प्रत्येक वेधशाळेंत आप आपणाकरितां किरणवक्रीभवनाचीं निरनिराळीं कोष्टकें तयार करितात, आणि वेधकाळीं वायुगुरुत्वमापक यंत्रांत आणि वायुगतोष्णतामापक यंत्रांत, वायूचा भार आणि उष्णता हीं जशीं असतील, त्या प्रमाणें कोष्टकांतील किरणवक्रीभवनास संस्कार करितात. किरण वक्रीभवनानें दिक्कोन मात्र बदलत नाहीं; विषुवांतर, क्रांति वगैरे दुसरीं मापनें बदलतात.

८८. क्षितिजाशीं किरणवक्रीभवन अर्धांशा पेक्षां अधिक असतें आणि सूर्य आणि चंद्र ह्यांचे बिंबांची रुंदी सुमारें अर्धांश आहे, म्हणून सूर्य आणि चंद्र ह्या दोहोंतून कोणताही एक क्षितिजाचे खालीं असतांही तो आपणास क्षितिजाचे वर दिसतो. जर प्रत्येकाचे किरण पृथ्वीवर सरल रेषेनें येते, तर तो ज्या वेळेस उगवता आणि मावळता त्या वेळेपेक्षां किरणवक्रीभवनानें दोन मिन्युटें अगोदर तो उगवतो आणि दोन मिन्युटें मागून मावळतो. खस्थ पदार्थ जसा वर वर येतो, तसें किरणवक्रीभवन जलद कमी कमी होत जातें. दहा अंश उंचीवर हें किरणवक्रीभवन सुमारें अंशाचा बारावा भाग, म्हणजे क्षितिजांत जें असतें त्याचा सहावा भाग मात्र असतें. ४५ अंश उंचीवर हें एक

कला मात्र असतें. ४५ अंश उंची पासून ९० अंश उंची पर्यंत हें तर फारच कमी असतें, म्हणून ज्योतिःशास्त्रज्ञ खस्थ पदार्थ बरेच वर आहेत, तों पर्यंत त्यांचे वेध* घेतात; कांकीं ४५ अंश उंची पासून ९० अंश उंची पर्यंत किरणवक्रीभवन फारच कमी असल्यामुळें वेधांत भेद पडतो, तो इतका थोडा असतो, कीं तो हिशेबांत न धरिला तरी, बहुतकरून चूक पडत नाहीं.

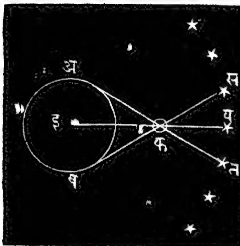
लंबन.

८९. सर्व खस्थ पदार्थांचे स्थानांत किरणवक्रीभवनानें होणारा भेद एकसारखाच असतो. जर एकादा तारा कांहीं एका उंचीवर असतां त्याचे किरण कांहीं वांकडे होतात, तर **सूर्य**, **चंद्र**, आणि इतर सर्व खस्थ पदार्थ ह्यांचेही किरण तितक्याच उंचीवर ते असतां तितकेच वांकडे होतील; परंतु लंबनानें होणारा भेद भिन्न भिन्न खस्थ पदार्थांचे स्थानांत भिन्न भिन्न असतो. अचल ताऱ्यांचे स्थानांत हा भेद इतका थोडा असतो, कीं तो समजत देखील नाहीं. **चंद्राचे** स्थानांत हा भेद फारच मोठा असतो, **सूर्याचे** स्थानांत हा फार थोडा असतो, आणि कितीएक ग्रहांचे स्थानांत तर फारच थोडा असतो.

९०. लंबन पृथ्वीचे महत्वामुळें उत्पन्न होतें; भूगोलाचे भिन्न भिन्न बाजूंवरून एकच पदार्थ पाहिल्यानें जो भेद पडतो, त्यास लंबन म्हणतात. जर एक पाहणारा एका स्थलीं आहे, आणि दुसरा पाहणारा दुसऱ्या अर्ध गोलांत त्या स्थलाचे बराबर समूरचे स्थलीं आहे, तर त्या दोघांच्या मध्यें अंतर सुमारें ८००० मैल होईल, आणि जर ते दोघे एकाच खस्थ पदार्थाकडे पाहूं लागले, तर त्यांस तो पदार्थ

* ही गोष्ट ज्या खस्थ पदार्थाचा वेध केव्हांही घेतला तरी चालतो, त्या विषयीं मात्र आहे.

एकाच दिशेंत दिसणार नाहीं. जसें, ह्या आकृतींत इ ही पृथ्वी आहे, आणि अ आणि ब हीं दोन स्थळें परस्परां समोर आहेत, म्हणजे हीं स्थळें सांधून एक रेषा काढिली तर अ ब भूव्यास होतो. आतां, जर प्रत्येक स्थलावरून क हा खस्थ पदार्थ पाहिला; तर अ स्थलच्या पाहणाऱ्यास तो त स्थलीं व ब स्थलच्या पाहणाऱ्यास तोच पदार्थ स स्थलीं आहे असें वाटेल; ह्या करितां त्याचे वास्तविक स्थाना विषयीं त्या दोघांचें मत एकच पडणार नाहीं. ह्या प्रमाणेंच जर अ आणि ब ह्यांचे मधील कोणतेही स्थलावरून क पदार्थ पाहिला, तर त्या स्थलच्या पाहणाऱ्यास तो निराळेच स्थानीं दिसेल. ह्या प्रकारें मतभेद किंवा घोटाळा होऊं नये ह्मणून प्रत्येक स्थलींचे वेधांस कांहीं संस्कार करून, पृथ्वीचे मध्यांतून तो पदार्थ पाहिला असतां ज्या स्थलीं दिसेल तें स्थल काढितात, आणि तें त्याचें खरें स्थल असें मानतात. ह्मणजे, जेव्हां अ स्थलाचा पाहणारा क पदार्थ त स्थलीं पाहतो, तेव्हां तो त च त्याचें खरें स्थल असें मानीत नाहीं, तर तो पदार्थ इ भूमध्यांतून पाहिला असतां ज्या स्थलीं दिसेल त्या प स्थलाचे खालीं त स्थल किती आहे, हें गणितानें काढून तें वेधानें आणिलेल्या कचे उंचींत मिळवितो आणि ती बेरीज त्याची खरी उंची आहे, असें मानतो. ह्या प्रमाणें वेधानें आणिलेल्या उंचींत मिळविलेलें जें अंतर व त त्यास लंबन म्हणतात. हें क पदार्थाशीं झालेला जो कोन त क प अथवा अ क इ ह्या बराबर आहे.

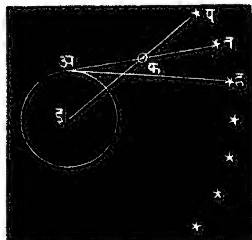


९१. पृथ्वीपासून खस्थ पदार्थाचें वास्तविक अंतर जसजसें असतें, तसतसें त्याचें लंबन असतें; म्हणजे पृथ्वीपासून कोणताही खस्थ पदार्थ जितका जितका दूर असतो, तितकें तितकें त्याचें लंबन कमी असतें; ह्यावरून आपणास अशी एक गोष्ट कळते, कीं सर्व

खस्थ पदार्थ डोळ्यांनीं आपणापासून सारखेच दूर दिसतात, तरीं ते वस्तुतः सारखे दूर नाहींत. ज्यांचे मध्यें ८००० मैल अंतर आहे, अशा दोन मनुष्यांनीं कित्येक अचल तारे पाहिले, तर ते तारे त्यांस आकाशांत एकाच स्थलीं दिसतात; ह्यावरून असें सिद्ध होतें, कीं पृथ्वीपासून त्यांचें अंतर अतिशयित आहे; परंतु पृथ्वीचे समोरा समोरचे दोन स्थलांवरून जर चंद्र पाहिला, तर त्याचे स्थानांत त्याचेच बिंबाचे रुंदीच्या चौपटी इतका भेद पडतो. ह्या भेदावरून पृथ्वीपासून त्याचें अंतर अचल ताऱ्यांचे अंतरापेक्षां कमी आहे, एवढेंच मात्र सिद्ध होतें, असें नाहीं, तर त्याचें अंतर किती मैल आहे हें आपणास समजतें. ह्या भेदावरून चंद्राचें अंतर काढण्याचा प्रकार पुढें सांगितला आहे.

९२. ह्या प्रमाणें लंबनाचें ज्ञान खस्थ पदार्थांच्या अंतरांच्या ज्ञानाधीन आहे. म्हणजे दुसरें समजल्यावांचून पहिलें समजत नाहीं. ह्यामुळें पृथ्वीपासून एकादे खस्थ पदार्थाचीं सर्व अंतरें माहीत असल्या वांचून आणि त्यांतील एकाद्यांत जर करितां भेद पडत असला, तर तो भेद समजल्यावांचून, आपण पृथ्वीचे मध्यांत आहों, असें मानून तो खस्थ पदार्थ पाहिला, तर त्याचें वास्तविक स्थान अमकेंच आहे असें समजावयाचें नाहीं.

९३. किरणवक्रीभवना प्रमाणेंच लंबनानेंही खस्थ पदार्थांचे उंचींत भेद पडतो; परंतु ह्यानें होणारा भेद किरणवक्रीभवनानें होणारे भेदाशीं उलट असतो. खस्थ पदार्थ पृथ्वीचे मध्यांतून पाहिल्यानें जितके उंच दिसतात त्यापेक्षां लंबनानें नेहमीं कमी उंच दिसतात. जसें ह्या आकृतींत पृथ्वीचे पृष्ठभागावरील **अ** स्थलावरून **क** कडे पाहिलें तर तो **अ क त** ह्या रेषेंत दिसतो, आणि पृथ्वीचे **इ** मध्यांतून पाहिलें, तर तो **इ क प** ह्या दिशेंत दिसतो, आणि त्याची



ह त ही दृश्य उंची ह प ह्या खरे उंचीपेक्षां कमी आहे. म्हणून खरी उंची काढितांना, दृश्य उंचींतून किरणवक्रीभवन वजा केल्यावर, तींत त प कींस, ह्मणजे प क त अथवा अ क इ कोन हें लंबन मिळविलें पाहिजे.

९४. किरणवक्रीभवना प्रमाणेंच, लंबन क्षितिजाशीं अत्याधिक असतें, आणि खस्वस्तिकीं शून्य असतें, कांकीं भूपृष्ठस्थ स्थल आणि खस्वस्तिक हीं सांधणारी रेषा, आणि भूमध्य आणि खस्वस्तिक हीं सांधणारी रेषा ह्या दोनही एकच होतात; परंतु लंबन एका नियमित प्रमाणानें कमी होत जातें, यास्तव एका उंचीचें लंबन समजलें असतां, दुसऱ्या कोणत्याही उंचीचें लंबन गणितानें काढितां येतें. जर क्षितिजांतील लंबन, ज्यास क्षितिज लंबन अथवा परम लंबन म्हणतात, तें समजलें, तर एकही वेध न घेतां त्यापासून उंचीचे प्रत्येक अंशाचें लंबन गणितानें काढितां येतें.

९५. किरणवक्रीभवन काढण्याची जी रीति मागें सांगितली त्याच रीतीनें लंबन काढितां येतें. जर एकादा खस्थ पदार्थ क्षितिजाचे वर येतां येतां खस्वस्तिकीं आला, तर कोणताही संस्कार केल्यावांचून त्याचें खरें स्थान आपणास समजतें; आणि कांहीं वेळानें जेव्हां तो खालीं बाऊन लंबनविकृत होतो, तेव्हां त्याचें खरें स्थान कोणतें आहे, हें आपणास पहिल्या खरे स्थानापासून काढितां येतें. मग जर आपण वेधानें त्या खस्थ पदार्थाचें दृश्य स्थान काढिलें आणि त्यास किरणवक्रीभवनाचा संस्कार करून तें गणितानें आणिलेल्या खरे स्थानांतून वजा केलें, तर बाकी लंबन राहील. असें मानूं कीं आपण चंद्र खस्वस्तिकीं पाहिला आणि तो भूमध्यांतून पाहिला असतां, आपले क्षितिजाचे वर केव्हां येईल हें गणितानें काढिलें. मग गणितानें आणिलेल्या ह्या वेळास किरणवक्रीभवनाचा संस्कार दिल्यावर शेष राहिलेल्या वेळींच जर चंद्र क्षितिजास स्पर्श करितांना दिसला, तर आपणास असें अनुमान करितां येतें कीं लंबनानें चंद्र एक अंश खालीं दिसतो आहे, म्हणजे चंद्राचे क्षितिज लंबन एक अंश आहे; परंतु लंबन

संस्कार मुख्यत्वेंकरून ह्मटला पाहिजे तो ग्रहास करावा लागतो, आणि ग्रह तर बहुतकरून राशिचक्रांत भ्रमण करितात. ह्यास्तव पृथ्वीचे विषुववृत्ताच्या सन्निध ह्मणजे उष्ण कटिबंधांत असणाऱ्या लोकांस मात्र ते खस्वस्तिकीं दिसतात; ह्याकरितां ही रीति बराबर असती, तरी ती युरोपांतील वेधशालांत योजितां आली नसती. खस्थ पदार्थांचीं अंतरें कशीं काढावीं हें सांगतांना, लंबनें काढण्यास ज्या रीतींची योजना करितात, त्या रीति सांगितलेल्या आहेत.

९६. खस्थ पदार्थांचे वेधांस किरणवक्रीभवन आणि लंबन ह्या दोन संस्कारांखेरीज दुसरे कितीएक संस्कार करावे लागतात. वर सांगितलेल्या लंबनाखेरीज आणखी एका प्रकारचें लंबन आहे. तसेंच खस्थ पदार्थांचें वास्तविक स्थान दृश्य स्थानाहून भिन्न असण्याचीं दुसरींही कांहीं कारणें आहेत; परंतु ज्योतिःशास्त्रांतील विशेष गुढ सिद्धांत समजल्यावांचून तीं कळावयाचीं नाहींत, ह्यास्तव त्या संस्काराचें निरूपण सांप्रत करीत नाहीं, पुढें करूं.

९७. फार चांगल्या यंत्रांचे साहाय्यानें, आणि खस्थ पदार्थांचें वेधांस जे संस्कार करावे लागतात, ते समजल्यानें, युरोपांतील अर्वाचीन ज्योतिषी भचक्राचा पूर्ण नकाशा काढितात, व ताऱ्यांच्या क्रांति आणि विषुवांतरें ह्यांसहवर्तमान त्यांचीं कोष्टकें करितात. अचल ताऱ्यांचीं स्थानें समजण्याकरितां, एकवेळ त्यांच्या क्रांति आणि विषुवांतर हीं बिनचूक काढिलीं ह्मणजे पुरें होतें; परंतु चलतारे (ह्मणजे ग्रह, उपग्रह, आणि धूमकेतु) ज्या नियमानें फिरतात तो समजे पर्यंत, ह्मणजे अमके स्थानींच्या गमनांचा वेग अमुक असतो, असें समजे पर्यंत, ते नेहेमीं पहावे लागतात; आणि त्यांचीं स्थानें प्रत्येक दिवसास, तासांस आणि मिन्युटास मांडून ठेवावीं लागतात. जर तो नियम एकवेळ बराबर समजला, तर पाहिजे त्या वर्षांतील त्यांचीं स्थानें गणितानें समजतात आणि अर्थातच त्यांचे वेध घेण्याची गरज राहत नाहीं; परंतु चल ताऱ्यांपैकीं कितीएकांच्या गमनाचा प्रकार इतका भ्रामक आहे, कीं त्यांचे वेध पुढें येणाऱ्या कितीएक वर्षें पर्यंत नित्य घेतले

पाहिजेत; आणि त्यांचे गती विषयीं समजलेले जे नियम त्यांवरून गणितें केलीं पाहिजेत. लक्षावधी ताऱ्यांचीं विषुवांतरें आणि क्रांति हीं काढून त्यांचीं स्थानें बराबर निश्चित केलीं आहेत; अचल तारे चल ताऱ्यांच्या भ्रमणमार्गाचा नियम शोधून काढण्यास फार उपयोगीं पडतात.

९८. आतां हें सांगणें अवश्य आहे, कीं चल ताऱ्यांचीं स्थानें बहुतकरून क्रांतिवृत्ताचे संबंधानें मोजतात. चलतारे आणि विशेषतः ग्रह क्रांतिवृत्ताचे जवळूनच भ्रमण करितात; आणि विषुववृत्त उल्लंघितांना त्याशीं बराच कोन करितात; आणि त्या पासून बहुत दूर जातात; म्हणून त्यांचीं स्थानें दाखविण्यास विषुववृत्तापेक्षां क्रांतिवृत्त अधिक सोयवार पडतें. क्रांतिवृत्ता पासून कोणत्याही ग्रहाचें जें अंतर त्यास त्याचा शर म्हणतात, आणि मुख्य संपातबिंदु आणि ग्रहापासून क्रांतिवृत्तावर टाकलेला लंब ह्यांचे मध्यें क्रांतिवृत्ताचा जो भाग सांपडतो, त्यास त्या ग्रहाचा भोग म्हणतात. विषुवांतरा प्रमाणेंच, भोग सूर्याचे दिशेनें, म्हणजे पश्चिमेकडून पूर्वेकडे, मोजतात. जसें ह्या आकृतींत इ कु हें विषुववृत्त आहे, त्यास कापणारें र स हें क्रांतिवृत्त आहे; आणि क्रांतिवृत्तावर व मुख्य संपातापासून एक लंब वृत्त काढून तें त पर्यंत वाढविलें आहे; म्हणून विषुववृत्ताचा जसा प हा ध्रुव आहे, तसा त हा क्रांतिवृत्ताचा ध्रुव आहे, ह्यास कदंब म्हणतात. आतां जर क हा एक ग्रह असला; तर त्याचें स्थान शर आणि भोग ह्यांचे योगानें निश्चित करितां येतें. त आणि क ह्या बिंदूंतून क्रांतिवृत्ता पर्यंत एक वर्तुलपाद काढिला तर क द त्या ग्रहाचा शर आहे, आणि व द त्याचा

भोग आहे. मार्चाचे २१ वे तारिखेस सूर्याचा भोग शून्य असतो. जूनीचे २१ वे तारिखेस त्याचा भोग वर्तुलपाद म्हणजे ९० अंश असतो. सप्तेंबराचे २१ वे तारिखेस त्याचा भोग १८० अंश असतो, आणि दिसेंबराचे २१ वीस त्याचा भोग २७० अंश असतो. सूर्याचे गतींत जो थोडासा अनियमितपणा आहे, तो जर नसता, तर त्याचा शर नेहमीं शून्य असता. सूर्याची गति थोडीशी अनियमित असल्यामुळें तो नेहमीं क्रांतिवृत्तांत नसतो; तर क्रांतिवृत्ताचे आजूबाजूस असतो. सूर्याचें हें आजूबाजूस जाणें म्हणजे त्याचा शर एका विकलेपेक्षां (म्हणजे अंशाचे ३६०० शावे भागापेक्षां) बहुधा अधिक असत नाहीं. जेव्हां चंद्र अथवा एकादा ग्रह क्रांतिवृत्त उल्लंघितो, तेव्हां अर्थातच त्याचा शर शून्य असतो.

९९. खस्थ पदार्थाचा शर आणि भोग काढण्याकरितां निराळे वेध करण्याची गरज नाहीं. जर क्रांतिवृत्ताचें तिर्यक्त्व बराबर समजलें तर त्रिकोणमितीचे आधारानें क्रांति आणि विषुवांतर ह्यांपासून शर आणि भोग निघतात, अथवा जर शर आणि भोग हे समजले, तर ह्यापासून क्रांति आणि विषुवांतर हीं निघतात. ह्या चार पदां पैकीं तीन नेहमीं अंश, कला, आणि विकला ह्यांच्या रूपानें मांडतात, परंतु विषुवांतर, अवर, मिन्युटें, आणि सेकंद ह्यांच्या, रूपानें मांडतात. जर मुख्य संपात बिंदु याम्योत्तर उल्लंघितांना पाहिला (तेव्हां नाक्षत्र घड्याळ्यांत अवर० मिन्युटें० सेकंद० असतात) आणि त्यानंतर नाक्षत्र घड्याळांत अडीच वाजतां एकादा तारा अथवा ग्रह याम्योत्तर उल्लंघितांना पाहिला, तर दोन कालांचे मधील भेद २ अवर ३० मिनुटें हें त्याचें विषुवांतर ह्मणून मांडतात. असेंच त्याच घडयाळांत १६ अवर ३५ मिन्यटें वाजतां याम्योत्तरीं जितके तारे असतात तितक्यांचें

विषुवांतर १६ अवर ३५ मिन्युटें ह्मणून मांडतात. व्यवहारांतील घड्याळांत एकापासून बारापर्यंत अवर मांडले असतात.

१००. ही गोष्ट ध्यानांत ठेवण्याजोगी आहे, कीं भूस्थविषुववृत्तास पृथ्वीवर जशी नियमित स्थिति आहे, तशी खस्थविषुववृत्तास आकाशांत नियमित स्थिति नाहीं. खस्थ विषुववृत्त कालगत्या आपले स्थान बदलतें, आणि भिन्न भिन्न कालीं भचक्राचे भिन्न भिन्न विभाग करतें. पृथ्वीचे विषुववृत्ताप्रमाणें, बहुतकरून स्थिर आकाशांत क्रांतिवृत्त मात्र आहे; हें नेहमीं ताऱ्यांमधून एकाच रेषेनें बहुतकरून जातें. ह्मणून खस्थ मापनें दाखविण्यास क्रांतिवृत्त घेतात. खस्थ पदार्थांचे शरांत कालगतीनें अगदीं फेर पडत नाहीं; त्यांचे भोगांत मात्र फेर पडतो. आणि तो मुख्य संपातबिंदु जितका बदलतो, त्याबराबर असतो.

१०१. आकाशाचे विषुववृत्ताविषयीं कांहीं सांगावयाचें झालें ह्मणजे विषुववृत्त ह्या शब्दाचे मागें खस्थ हें विशेषण लावितात. खस्थ विषुववृत्तास केव्हां केव्हां नाडीमंडल असेंही ह्मणतात.

भाग तिसरा.

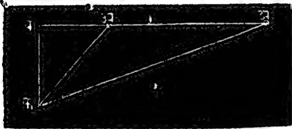
ज्योतिषशास्त्रसंबंधी गणितविचार.

१०२. खस्थ पदार्थांचीं अंतरें, त्यांचें महत्व ह्मणजे विस्तीर, त्यांचा आकार, आणि त्यांच्या कक्षांच्या आकृति, हीं भूमितीचे आणि गणिताचे सहायानें कशीं काढावीं हें ह्या भागांत सांगितलें आहे. मागील भागांत खस्थ पदार्थांचीं सामान्य दर्शनें मात्र सांगितलीं; परंतु त्यांचे अंतरांशीं, वास्तविक महत्वांशीं, आणि आपण जीवर राहतों, त्या पृथ्वीशीं त्या दर्शनांचा कोणता संबंध आहे, त्या विषयीं आतां आपणास विचार करणें आहे. सर्व नक्षत्रें व ग्रह ह्यांहून चंद्र हा मोठा दिसतो; परंतु त्याचें महत्व इतरांचे पेक्षां वास्तविकच अधिक असल्यामुळें तो मोठा दिसतो, किंवा आपणा पासून त्याचें अंतर इतरांचे अंतरां पेक्षां कमी असल्यामुळें तो मोठा दिसतो, हें पाहणें आहे. आणखी, पृथ्वी ह्या विश्वाचे मध्यभागीं निरंतर स्थिर आहे, आणि ती सभोंवतीं भचक्र मोठ्या वेगानें फिरत आहे; असें सकृद्दर्शनीं आपणास वाटतें; परंतु आपणास हें ठाऊक आहे, कीं इतर खस्थ पदार्थां प्रमाणेंच, पृथ्वी अंतरालांत असून गोलरूप आहे; ह्मणून ही गोष्टही संभवद्युक्तिक आहे, कीं त्यां प्रमाणेंच तीही फिरत असेल, आणि तिच्या फिरण्यानें आपले खस्थ पदार्थांचे वेध पुष्कळ बदलत असतील. तर ह्या गोष्टींचा निश्चय खस्थ पदार्थांचे वेध आणि भूमिति ह्यांचे द्वारें होतो. ह्या भागाचे ज्ञानानें पुढील भाग, ज्यांत खस्थ पदार्थ आपआपले भ्रमण मार्गांत ज्या प्रेरणांनीं राहतात, त्यांचें निरूपण केलें आहे, तो समजून घेण्यास सुलभ पडतो.

खस्थ पदार्थांचीं अंतरें.

१०३. कोणत्याही दोन खस्थ पदार्थांचे मधील अंतर आकाशाचे वर्तुल भागांनीं कसें मोजावें हें मागील भागांत सांगितलें, आतां तें

अंतर कोणत्याही एका सरल मापनानें (म्हणजे जसें मैलांनीं) कसें मोजावें, हें ह्या भागांत सांगतों. दोन पदार्थांचे मधील अंतर एका पासून दुसऱ्या पर्यंत चालत गेल्यावांचून आपणास काढितां येतें. उदाहरणार्थ असें मानूं, कीं ब स्थलींचा मनुष्य आपणा पासून अ स्थल किती दूर



आहे, हें काढूं इच्छितो. तो पहिल्यानें अ पासून ब पर्यंत जी रेषा आहे तिजवर लंब अशी ब क रेषा मोजून घेईल आणि क स्थलीं कोन मापण्याचे यंत्रानें अ क आणि ब क ह्यांचे मध्यें किती कोन आहे हें काढील. जर अ जवळ असेल, तर क स्थलींचा कोन फार लहान होईल; जर अ फार दूर असेल, तर तो कोन फार मोठा होईल; आणि त्या कोनाच्या बराबर मानानें अ चें बराबर अंतर निघेल. जर ब·क १०० फूट असेल, आणि ब कोन काटकोन आणि क कोन अर्धा काटकोन म्हणजे ४५ अंश असेल, तर अ बराबर १०० फूट होईल. जर क कोन ६० अंश असेल, तर ब अ सुमारें १७५ फूट होईल. आणि ह्या प्रमाणें क कोन जितका मोठा असेल तितकें ब अ अंतर अधिक होईल. सरल रेख त्रिकोणमितीचे सिद्धांतांनीं अशा प्रकारचे हिशेब होतात. जेव्हां ब कोन काटकोन असतो, तेव्हां अ स्थलींचा कोन ब आणि क ह्या दोन कोनांचे वजाबाकी बराबर असतो. जर क कोन ७० अंश असला, तर अ कोन २० अंश होईल. आतां जर आपणास कांहीं नियमित अंतर (म्हणजे जसें ब क) समजलें आणि त्या अंतरानें एकादे दूर बिंदूशीं जो कोन होतो, तो (म्हणजे जसा अ कोन) समजला, तर अ पासून ब पर्यंत जें अंतर तें गणितानें अगदीं बराबर समजतें.

१०४. ह्याकरितां पृथ्वी पासून कोणत्याही एकादे खस्थ पदार्थाचें अंतर काढणें झाल्यास, ज्यांचे मधील अंतर आपणास माहीत आहे, अशीं ह्या पृथ्वीवरील दोन स्थलें घेऊन, प्रत्येक स्थलीं त्या पदार्थाशीं

कोन मापावे, ह्मणजे झालें. ह्या रीतीनें **चंद्राचें** अंतर **काढण्याकरितां**, **लाकेली** आणि लालंदो ह्या दोन **फ्रेंच** ज्योतिष्यांतून एकजण **केप आफ् गुड होप** ह्या स्थलीं गेला, आणि दुसरा **बर्लिन** ह्या स्थळीं गेला, आणि ठरावलेल्या कालचे एकाच क्षणीं प्रत्येकानें ताऱ्यांचे मधील **चंद्राचें** स्थान मोजलें. तेव्हां दोन स्थलांचे मधील अंतरामुळें **चंद्राचे** स्थानांत जो भेद पडला तो सुमारें एक अंश भरली. आतां पृथ्वीच्या आकाराचे मानावरून आणि त्या स्थलांचे विषुववृत्तांतरांचे भेदावरून असें समजतें, कीं त्या दोन स्थळांच्यामध्यें अंतर १०००० मैल आणि ११००० मैल ह्यांचे मध्यें आहे. आणि त्या स्थलांवरून एककालींच **चंद्राकडे** पाहिलें असतां **चंद्राचें** जें लंबन तें सुमारें एक अंश असें समजलें आहे, ह्मणून त्रिकोणमितीनें असें निघतें, कीं **चंद्राचें** पृथ्वीपासून अंतर सुमारें २,३७००० मैल ह्मणजे पृथ्वीचे त्रिज्येच्या सुमारें साठपट आहे. मागील आकृति ह्या उदाहरणाची आहे, असें मानल्यास **ब क** १०००० मैलांहून अधिक आहे, **अ** स्थलींचा कोन एक अंश आहे आणि **अ ब** अंतर २,३७००० मैल आहे. पृथ्वीचे पृष्ठभागापासून **चंद्राचें** पृष्ठभागापर्यंत अंतर पृथ्वीचे सर्व परिघाचे सुमारें दसपट आहे. दर अवरास तीस मैल ह्या प्रमाणानें अहोरात्र एकादी आगेची गाडी जात असली, तर तिला हें सर्व अंतर क्रमण्यास सुमारें एक वर्ष लागेल.

१०५. **चंद्र** पृथ्वीपासून सदां सारख्याच अंतरावर असतो, किंवा तो कधीं कधीं तिचे जवळ येतो आणि कधीं कधीं तापासून दूर जातो. ही गोष्ट वर सांगितलेली कृति पुनः पुनः केल्यानें समजतें; परंतु हीच गोष्ट समजण्यास दुसरा सुलभ प्रकार आहे. तो आह्मी पुढें दाखवूं.

१०६. **चंद्राचें** अंतर काढण्याचा जो प्रकार वर सांगितला, त्याच प्रकारानें **सूर्याचें** अंतर काढितां येत नाहीं, कां कीं **ब** आणि **क** ह्या दोन कोनांची वजावाकी ह्मणजे **अ** कोन हा इतका लहान येतो, कीं वेधाचे थोडेशे चुकीनें **सूर्याच्या** अंतरांत पुष्कळ भेद पडतो. **अ** कोन एका अंशाचे जागीं सुमारें अंशाचा $\frac{1}{800}$ वा भाग (ह्मणजे ९ सेकंद) मात्र

येतो, आणि वेधांत एक दोन विकलांची चुकी तर सहज होते; परंतु एवढ्याशा चुकीनें त्याचे अंतरांत सुमारें सर्व अंतराचा $\frac{1}{8}$ थोडी चुकी पडते. ह्यावरून एवढें मात्र समजतें, कीं सूर्याचें अंतर चंद्राच्या अंतराचें सुमारें ४०० पट आहे.

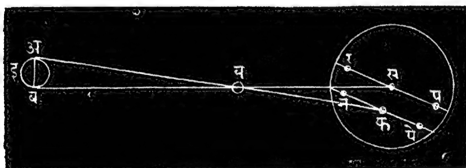
१०७. प्राचीनकाळीं ग्रीस देशांत अरिस्तार्कस ह्या नामें एक ज्योतिषी होऊन गेला. त्यानें सूर्याचें अंतर काढण्या करितां एक युक्ति काढिली होती. ती ही, कीं पृथ्वीवरील कोणत्याही दोन स्थलांच्या मधील अंतराहून पृथ्वीपासून चंद्राचें अंतर फारच अधिक आहे; ह्मणून त्या अंतरानें सूर्याशीं जर कोन मोजला, तर तो ९ सेकंदाहून मोठा येईल, आणि ह्यामुळें त्यांत वेधाचे साहजिक चुकीनें फारसें अंतर पडणार नाहीं; परंतु ह्या युक्तींत* कांहीं विलक्षण अडचणी असल्यामुळें मागलीप्रमाणें ह्याही युक्तीनें सूर्याचें अंतर काढितां येत नाहीं. अरिस्तार्कसानें ह्या आपले युक्तीनें सूर्याचें अंतर काढून पाहिलें, तों त्यास इतकें मात्र समजलें, कीं सूर्य पृथ्वीपासून चंद्रापेक्षां निदान वीस पट दूर आहे.

१०८. शेवटीं, शुक्राचे युतीच्या वेधांनीं सूर्याचें अंतर बराबर काढितां आलें. सन १७६९ रांत शुक्राची युति झाली होती, त्या प्रसंगीं पृथ्वीचे भिन्न भिन्न स्थलांवरून ती युति पाहण्याकरितां ब्रितिश,

* युक्ति पुढीलप्रमाणें असावी.

ह्या आकृतींत (प) पृथ्वीचा मध्य आहे, (च) चंद्राचा मध्य आहे आणि (स) सूर्याचा मध्य आहे. आतां, जेव्हां चंद्र आणि सूर्य फिरतां फिरतां (च प) रेषा (च स) रेषेवर लंब होईल, अशा स्थितींत येतील, तेव्हां जर (च प स) कोन मापून काढिला, तर तो कोन आणि पृथ्वीपासून चंद्राचें जें अंतर (च प) ह्यांवरून (प स) ह्मणजे पृथ्वी पासून सूर्याचें अंतर निघेल.

फ्रेंच, रशियन इत्यादि सरकारांनीं गलबतें वगैरे अवश्य सामान देऊन चांगले चांगले लोक पाठविले होते. त्या समयीं **क्याप्तन कूक** साहेबाची नेमणूक **ओतेहीत** बेटास झाली होती. **सूर्य**-बिंबावरून **शुक्राच्या** जाण्याची रेषा वेधकर्त्यांचे स्थलप्रमाणें लहान मोठी पडते; म्हणून प्रत्येक वेधकर्त्यास ह्या रेषेची लांबी काढिली पाहिजे. आतां **सूर्य**बिंबावरून **शुक्राच्या** जाण्याच्या रेषेची लांबी काढण्याचा अतिस्वल्प प्रकार म्हटला म्हणजे प्रत्येक स्थलीं **शुक्रास सूर्य**बिंबावरून जाण्यास जो काल लागतो, तो लिहून ठेवणें हा होय. ह्या काला पासून **शुक्राचा** परीघ आणि प्रदक्षिणा काल ह्यांच्या योगानें गणितानें **शुक्र सूर्य**बिंबाचे ज्या भागावरून जातो, त्या भागाची लांबी निघते. ह्या प्रमाणें त्या पाठविलेल्या लोकांनीं वेध घेऊन, पृथ्वीच्या समोरा समोरचे स्थलांवरून पाहिलेल्या **शुक्राच्या** दोन गमन रेषांच्या मधील अंतर काढून, त्यावरून पृथ्वी पासून **सूर्याचें** अंतर काढलें. पुढील आकृतींत इ ही पृथ्वी, **व** हा **शुक्र**, आणि **स** हा **सूर्य** आहे, तर **अ** स्थलावरून पाहिलेली **शुक्राच्या** गमनाची रेषा **प स र** ही **ब**



स्थळावरून पाहिलेल्या **पे क न*** रेषेहून अधिक आहे; कारण वर्तुलांत मध्या जवळची रेषा कडेजवळचे रेषेहून मोठी असते. आतां, **अ व क** आणि **ब व क** ह्या दोन सरल रेषा आहेत; म्हणून **व** स्थलींचे समोरा समोरचे कोन बराबर आहेत; ह्याकरितां **अ ब : क पे ::** पृथ्वी पासून **शुक्राचें** अंतरः **सूर्या** पासून **शुक्राचें** अंतर. पहिलीं तीन

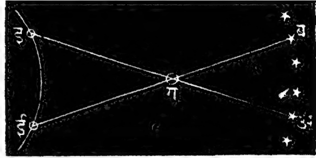
* (पे क न) आणि (प स र) ह्या दोन रेषांच्या लांबीवरून (क पे) रेषेची लांबी समजते

पदें माहीत आहेत, म्हणून ह्या प्रमाणा पासून चवथें पद निघतें, आणि त्यांत तिसरें पद मिळविलें म्हणजे पृथ्वी पासून सूर्याचें अंतर, समजतें. ह्याप्रमाणें तेव्हां घेतलेल्या शुक्राच्या युतीचे वेधांवरून असें समजलें आहे, कीं पृथ्वीपासून सूर्याचें अंतर तिच्या त्रिज्येच्या २३,९८४ पट, म्हणजे सुमारें ९,५०,००,००० मैल आहे. त्याच कृतीनें असें समजलें आहे, कीं सूर्याचें क्षितिज लंबन ८·६ विकला आहे. चंद्राचें क्षितिज लंबन सुमारें एक अंश आहे.

१०९. ज्या रीतीनें चंद्राचें अंतर काढिलें त्याच रीतीनें **बुध**, **शुक्र**, **मंगळ**, इत्यादि ग्रहांचीं अंतरें काढितां येतात, परंतु आलीकडे ज्योतिःशास्त्राची विशेष माहिती होऊन असें सिद्ध झालें आहे, कीं पृथ्वी सूर्याभोंवतीं सतत फिरते. आतां, सूर्य आणि पृथ्वी ह्यांचे मध्यें अंतर ९,५०,००,००० मैल आहे; म्हणून ती सूर्या भोंवतीं ज्या वर्तुलांत फिरते त्या वर्तुलाचा सर्व घेर (म्हणजे एका वर्षांतील तिचें एकंदर गमन) सुमारें ६०,००,००,००० मैल आहे, ह्यावरून ती एका महिन्यांत ५,००,००,००० मैल गमन करिते, आणि एका दिवसांत सुमारें १६,००,००० मैल गमन करिते. म्हणून आज एकादे ग्रहाचा वेध घेतला, आणि उद्यां त्याच ग्रहाचा वेध घेतला, तर पृथ्वीचे एका दिवसानें म्हणजे १६,००,००० मैल अंतरानें त्या ग्रहाशीं होणारा जो कोन तो समजेल, आणि त्यावरून पृथ्वीपासून त्या ग्रहाचें अंतर समजेल.

११०. वर सांगितलेलें स्पष्ट होण्याकरितां असें मानूं, कीं आपणास पृथ्वीपासून गुरूचें अंतर काढावयाचें आहे. आतां, हा ग्रह अगदीं अचल आहे, म्हणजे ह्यास स्वतांची गति नाहीं, असें प्रथमतः कल्पून ताऱ्यांमधील त्याचें स्थान कांहीं दिवसांचे अंतरानें दोन वेळां पाहिलें, तर दोहों वेधांच्या मधील जो अंशादिभेद तो पृथ्वीच्या त्या दिवसांच्या

गतीनें गुरूशीं होणारा जो कोन त्याबरोबर येईल. म्हणजे, पृथ्वी इ स्थळीं असतां, ग हा गुरु अचल ताऱ्यांमध्यें अ स्थानीं दिसेल, आणि ती ई स्थळीं असतां, तो अचल ताऱ्यांमध्यें ब स्थानीं दिसेल आणि ह्या दोन स्थानांचे मधील कौंस अ ब, इ आणि ई ह्या दोन स्थळांचे मधील अंतरानें झालेल्या ग कोनाबरोबर होईल. इ पासून ई पर्यंत जें अंतर आहे, तें जर पृथ्वीच्या मासिक गतीबराबर असलें, तर ह्या अंतरानें कोणत्याही ग्रहाशीं होणारा कोन इतका मोठा येईल, कीं त्यांत वेधाच्या एक दोन सेकंदाच्या चुकीनें फारच थोडा भेद पडेल, आणि त्यापासून त्या ग्रहाचें अंतर बराबर निघेल.



१११. परंतु गुरूला स्वतांची गति आहे; म्हणून जितक्या दिवसांचे अंतरानें आपण त्याचे वेध घेतले असतील, तितक्या दिवसांची गुरूची गति गणितानें आणून, तदनुरूप ग कोनास संस्कार केल्यावर त्यांपासून गुरूचें अंतर काढावें.

११२. ह्या प्रकारें भिन्न भिन्न काळीं वेध घेऊन सर्व ग्रहांचीं अंतरें काढितात; परंतु हीं अंतरें एकवेळां वेध घेतल्यानें बराबर निघत नाहींत. पहिल्यानें एका ग्रहाचें सरासरी अंतर काढून, त्याचे योगानें दुसऱ्याचें अंतर काढितात; आणि त्या अंतराच्या योगानें पुनः पहिल्याचें अंतर काढितात. १०८ व्या कलमांत सांगितलेल्या रितीनें सूर्याचें अंतर काढण्याचे पूर्वी शुक्राचें अंतर समजलें पाहिजे; परंतु ११० व्या कलमांत सांगितलेल्या रितीनें मात्र शुक्राचें अंतर बराबर निघवें; आणि पृथ्वीची गति समजल्यावांचून, ग्रहांचीं अंतरें काढण्यांत त्या रितीची योजना करितां येत नाहीं, आणखी, पृथ्वी एका आठवड्यांत किंवा दिवसांत किती गमन करिते, हें सूर्यापासून तिचें अंतर समजल्या शिवाय समजत नाहीं. ह्याकरितां, प्रथमतः सरासरी अंतरें घेऊन त्यां पासून वेधांचे सहायानें दुसरीं अंतरें काढून

त्यां पासून पुनः पहिलीं अंतरें काढितात, आणि असें बहुत वेळ करून सर्वदां वेधाशीं जमणारीं अशीं अंतरें आणितात.

११३. ज्योतिःशास्त्रांतील नवीन शोधांवरून असें समजलें आहे, कीं **सूर्य** हा सर्व ग्रहांच्या गमनांचा मध्य आहे, ह्मणून ज्योतिःशास्त्रज्ञ पृथ्वीपासून सर्व ग्रहांचीं अंतरें काढल्यावर **सूर्या** पासून त्यांचीं अंतरें काढितात. **सूर्या** पासून त्यांचीं अंतरें नेहमीं बहुतकरून सारखीं असतात, आणि पृथ्वीपासून त्यांचीं अंतरें फार अनियमित असतात. पृथ्वीपासून **मंगळाचें** अंतर एके वेळीं जितकें असतें, त्याचे चौपट दुसऱ्या वेळीं असतें; परंतु **सूर्या** पासून त्याचें अंतर नेहमीं बहुतकरून सारखेंच असतें; आणि त्यांत जो काय फेरफार होतो, तो एका नियमित सारखे प्रमाणानें होतो.

११४. ह्या करितां पृथ्वीपासून आणि एकमेका पासून सर्व ग्रहांचीं अंतरें काढिल्यावर, तीं सांगण्याचा सामान्य प्रकार म्हटला म्हणजे अमुक ग्रह **सूर्या** पासून अमुक अंतरावर आहे, असें सांगतात. **बुध** **सूर्याचे** अतिसंन्निध आहे, आणि त्याचें **सूर्या** पासून अंतर पृथ्वीच्या अंतराच्या सुमारें दोन पंचमांश आहे. **बुधाचे** पलीकडे **शुक्र** आहे. तो **सूर्या** पासून पृथ्वीच्या अंतराच्या सुमारें तीन चतुर्थांश दूर आहे. पृथ्वी ही स्वतां **सूर्या** पासून अनुक्रमानें तिसरी आहे. नंतर **मंगळ** आहे तो **सूर्या** पासून पृथ्वीच्या दूरत्वाच्या दीड पट दूर आहे. आलीकडील साठ वर्षांत सांपडलेले आणि नुसत्या डोळ्यांनीं न दिसणारे असे जे लहान ग्रह, ते **मंगळाचे** पलीकडे आहेत. बहुतकरून ते सर्व **सूर्या** पासून पृथ्वीच्या अंतराच्या सुमारें अडीच पट दूर आहेत. त्याचे पलीकडे **गुरु** आहे, तो **सूर्या** पासून पृथ्वीच्या अंतराच्या ५ $\frac{१}{५}$ पट दूर आहे. **शनि** **सूर्या** पासून पृथ्वीच्या अंतराच्या साडेनऊ पट दूर आहे. **युरेनस** एकोणीस पट दूर आहे, आणि नवीन सांपडलेला ग्रह **नेप्चून** हा एकोणतीस पट दूर आहे. (१४८ वें कलम पहा.)

११५. सर्व ग्रह **सूर्या** भोंवतीं फिरतात, पृथ्वी भोंवतीं फिरत नाहींत; म्हणून कोणताही एकादा ग्रह जेव्हां **सूर्य** आणि पृथ्वी ह्यांचे

मध्यें येतो, किंवा पृथ्वी जेव्हां कोणताही ग्रह आणि सूर्य ह्यांचेमध्यें येते, तेव्हां तो ग्रह पृथ्वीपासून अत्यल्प अंतरावर असतो, आणि जेव्हां कोणताही ग्रह सूर्याचे पलीकडे जातो, म्हणजे तो ग्रह आणि पृथ्वी ह्यांचेमध्यें सूर्य येतो, तेव्हां तो ग्रह पृथ्वीपासून अति दूर असतो. जर सूर्य आणि पृथ्वी ह्यांचें मधील अंतर १० मानलें, तर जेव्हां बुध पृथ्वीपासून अत्यल्प अंतरावर असतो, तेव्हां पृथ्वीपासून त्याचें अंतर ६ असतें, आणि जेव्हां तो तिजपासून अत्यधिक अंतरावर असतो, तेव्हां त्याचें अंतर १४ असतें.

११६. ग्रहांचीं अंतरें काढण्याची रीत वर सांगितली, त्या रीतीनें नक्षत्रांचीं अंतरें काढूं लागल्यास ती अगदीं उपयोगीं पडत नाहीं. पृथ्वीवरील समोरासमोरचे स्थलांवरून दोन वेधकर्ते एकाच नक्षत्राकडे पाहूं लागले, तर त्यास त्याचे स्थानांत किंचित् देखील भेद दिसत नाहीं, एवढेंच नाहीं; पण पृथ्वी सूर्याभोंवतीं ज्या वर्तुलांत फिरते, त्या वर्तुलाचे कोणत्याही स्थलावरून केलेला वेध, त्या स्थलापासून अति दूर म्हणजे सुमारें २०,००,००,००० मैल अंतरावर असणाऱ्या स्थलावरून केलेल्या वेधांबरोबरच येतो; म्हणजे आज एकादे नक्षत्राचा वेध घेतला, आणि सहा महिन्यांनीं त्याच नक्षत्राचा वेध घेतला, तर वेधाचें पहिलें स्थल आणि दुसरें स्थल ह्यांचे मध्यें २०,००,००,००० मैल अंतर असतें, तरी देखील ते दोन वेध एकसारखे येतात. त्यांच्या मध्यें एक सेकंदा इतका म्हणजे अंशाच्या $\frac{1}{3600}$ इतका भेद असता, तर तो सुद्धां समजण्या सारखीं हल्लीं सूक्ष्म यंत्रें आहेत; पण तितका देखील भेद पडत नाहीं. त्या दोन वेधांत एक सेकंदाचा भेद मानला तर त्रिकोणमितीनें-पृथ्वीपासून त्या नक्षत्राचें अंतर १,९७,८८,२३,९०,-४०,००० मैल, म्हणजे सूर्याच्या अंतराच्या २,००,००० पट येतें. ह्यावरून असें समजतें कीं सर्व अचल ताऱ्यांत अति संन्निध जो तारा, तो आपणापासून निदान २,००,००,००,००,००,००० दोन कोटींची दशलक्ष पट मैल दूर आहे.

११७. ह्या शोधानें चल तारे आणि अचल तारे ह्यांचे मध्यें

नवीनच एक भेद होतो. पृथ्वीपासून चल तार्‍यांचीं अंतरें काढितां येतात, आणि अचल तार्‍यांचीं अंतरें काढितां येत नाहींत. ह्यामुळें सर्व विश्वाचे दोन भाग होतात. एक सूर्यमाला आणि दुसरा नक्षत्रमाला. सूर्यमालेंत सूर्य, ग्रह, उपग्रह, आणि धूमकेतु हे येतात; आणि नक्षत्रमालेंत सर्व प्रकारचे अचल तारे येतात. आपणास सूर्यमाले विषयीं पुष्कळ माहिती आहे; परंतु नक्षत्रमाले विषयीं आपणास प्रायः कांहींच ठाऊक नाहीं. अंतरें बरोबर न समजल्यामुळें इतर गोष्टीही बराबर समजत नाहींत. नक्षत्रमाले विषयीं जी काय माहिती आपणास झाली आहे, ती पांचवे भागांत सांगितली आहे.

खस्थ पदार्थांचे आकार.

११८. बहुतेक खस्थ पदार्थ वाटोळे दिसतात; म्हणून ते गोल आहेत असें आपणास वाटतें; व ते ज्या अर्थी स्वतांच्या भोंवतें फिरून्ही वाटोळे दिसतात, त्या अर्थी ते गोलच असले पाहिजेत; कांकीं गोल मात्र कसाहि फिरला तरी त्याची कड (म्हणजे मर्यादा करणारी रेषा) वाटोळी दिसते.

११९. परंतु चंद्र आणि शनि हे दुर्बिणींतून पाहिलें असतां ह्यांचे बिंबांत एक विशेष चमत्कार दृष्टीस पडतो. चंद्राचा दृश्याकार नित्य बदलतो, आणि त्याच्या मासिक गमनाचे एका स्थलीं मात्र त्याचा दृश्याकार वर्तुल असतो. त्याचा दृश्याकार बदलण्याचें कारण असें आहे, कीं तो स्वयंप्रकाशक नाहीं; त्यास सूर्यापासून प्रकाश मिळतो; आणि त्याची प्रकाशित सर्व बाजू दररोज आपणास दिसत नाहीं. ह्या आकृतींत, म हा चंद्र, इ पृथ्वी आणि स सूर्य ह्यांचे मध्यें



असतो, तेव्हां त्याचा अप्रकाशित (म्हणजे तमोमय) भाग पृथ्वीकडे

असतो, म्हणून तो आपणास दिसत नाहीं. जेव्हां तो दुसरे बाजूस असतो (आणि पृथ्वी तो आणि सूर्य ह्यांच्यामध्यें बरावर नसते,) तेव्हां त्याचा प्रकाशित सर्व भाग पृथ्वीकडे असतो; म्हणून त्याचें बिंब पूर्ण वर्तुल दिसतें. दुसऱ्या दोन स्थलीं त्याच्या प्रकाशित भागाचें एक अर्ध मात्र पृथ्वीकडे असतें, म्हणून तेव्हां त्याचें बिंब अर्धवर्तुल दिसतें. जेव्हां त्याचा प्रकाशित सर्व भाग आपणास दिसत नाहीं, तेव्हां देखील तो गोलाकारच आहे, ही गोष्ट, शुद्ध प्रतिपदेस किंवा द्वितीयेस त्याजकडे पाहत कांहीं वेळ उभें राहिल्यानें सहज लक्षांत येतें. त्या दिवशीं त्याच्या प्रकाशित भागाची एक कोर त्याच्या गोलाभोंवतीं प्रकाशाच्या कड्या सारखी दिसते.

१२०. **शनी**चा दृश्याकार पुष्कळ बदलतो, त्याचे आकारांत जो अनियमितपणा दिसतो, त्याचीं कारणें **हीजेन्स** नामक **डच** ज्योतिःशास्त्रज्ञानें प्रथमतः सोपपत्तिक सांगितलीं. त्यानें असें सिद्ध करून दाखविलें, कीं **शनि** इतर ग्रहांप्रमाणें गोलाकार आहे; परंतु त्यापासून कांहीं अंतरावर त्या भोंवतीं फिरणारें एक कडें आहे; म्हणून तें कडें **शनि** भोंवतीं यज्ञोपवीताप्रमाणें दिसतें. (१४८ वे कलमांतील **शनी**ची आकृति पहा.)

१२१. ह्यावरून असें दिसतें, कीं पृथ्वी जशी गोलाकार आहे, तसें सर्व खस्थ पदार्थ गोलाकार आहेत; परंतु जर आपण यंत्रसाधनानें भिन्न भिन्न दिशांनीं त्यांचीं बिंबें मोजलीं, तर असें समजतें, कीं कितीएक बरावर गोल नाहींत; ह्मणजे त्यांचा एक व्यास दुसरे व्यासाबरोबर नाहीं. **गुरू**मध्यें ही गोष्ट फार दिसते; त्याचा महत्तम व्यास लघुतम व्यासाहून सर्व व्यासाचे सुमारें $\frac{1}{17}$ अंशानें अधिक आहे; म्हणजे महत्तम व्यास : लघुतम व्यास : : १०७ : १००. **शनी**च्या व्यासाच्या मध्यें असा भेद बराच आहे. इतर ग्रहांच्या व्यासांतही असा भेद आहे; परंतु ह्या दोन ग्रहांच्या व्यासांत जितका आहे, त्यापेक्षां तो फारच कमी आहे. **चंद्रांत** असा भेद फारच थोडा आहे; बरावर गोल नसणें, म्हणजे एका व्यासापेक्षां दुसरा व्यास अधिक असणें, ही गोष्ट पृथ्वी-

मध्येंही आहे. तिच्या ध्रुवांतून जाणारा व्यास विषुववृत्ताचे व्यासापेक्षां २६½ मैलांनीं ह्मणजे सर्व व्यासाचे सुमारें $\frac{१}{३००}$ अंशानें कमी आहे. ह्यावरून, सूर्यमालेंतील खस्थ पदार्थांच्या आकृति दीर्घगोलरूप (म्हणजे लांबोड्या गोलासारख्या) आहेत, असा सामान्य नियम म्हटल्यास चिंता नाहीं; भेद इतकाच, कीं कितीएकांची लांबी इतरांच्या लांबीपेक्षां अधिक आहे. अतिशयित अंतरावरचीं जीं नक्षत्रें, त्यांमध्यें कोणताही आकार दिसत नाहीं. दुर्बिणीची शक्ति कितीहि मोठी असली, तरी तींतून ते केवळ प्रकाशबिंदुरूप दिसतात, त्यांचीं बिंबें म्हणून दिसत नाहींत.

खस्थ पदार्थांचीं महत्त्वें.

१२२. खस्थ पदार्थांचीं अंतरें समजल्यावर, त्यांच्या दृश्याकारावरून, म्हणजे कोणमापक यंत्रानें घेतलेल्या त्यांच्या बिंबाच्या मानांवरून त्यांचीं वास्तविक आकारमानें काढितां येतात. जर एकादा पदार्थ एक मैल दूर आहे, आणि त्या अंतरावर त्याचे बिंबाचा व्यास एक अंश येतो; तर ह्या दोन गोष्टींवरून त्याचें वास्तविक आकारमान निघतें. चंद्र पृथ्वीपासून २,३७,००० मैल अंतरावर आहे, आणि त्याचे बिंबाचा व्यास अर्धे अंशाहून अधिक आहे; ह्मणून त्याचा व्यास सुमारें दोन हजार मैल असला पाहिजे. बरोबर गणित करून असें येतें, कीं चंद्राचा व्यास २१६० मैल आहे, म्हणजे तो पृथ्वीच्या व्यासाचें चतुर्थांशाहून थोडासा जास्ती आहे.

१२३. सूर्य बहुतकरून चंद्रा एवढाच दिसतो; परंतु पृथ्वीपासून त्याचें अंतर चंद्राच्या अंतराच्या सुमारें ४०० पट आहे, म्हणून ह्या अंतरावरून चंद्रा एवढें दिसण्यास सूर्याचा व्यास चंद्राच्या व्यासाच्या ४०० पट असला पाहिजे. वास्तविक म्हटलें, तर सूर्याचा व्यास पृथ्वीच्या व्यासाचे ११० पट आहे.

१२४. पृथ्वीपासून बुधाचें अंतर आणि त्याच्या बिंबाचा व्यास ह्यांवरून असें समजतें, कीं त्याचा व्यास पृथ्वीच्या व्यासाचे दोन

पंचमांश आहे. **शुक्राचा** व्यास बहुतकरून पृथ्वीच्या व्यासा बरा-बरच आहे. **मंगळाचा** व्यास पृथ्वीच्या व्यासाच्या अर्धा बराबर आहे. **मंगळ** आणि **गुरु** ह्यांच्या मधील ग्रह आकारमानानें फारच लहान आहेत. **गुरु** सर्व ग्रहांमध्यें आकारमानानें मोठा आहे, त्याचा व्यास पृथ्वीच्या व्यासाच्या ११ १/२ पट आहे. **गुरु** खेरीज करून सर्व ग्रहांमध्यें **शनि** हा आकारमानानें मोठा आहे, त्याचा व्यास पृथ्वीच्या व्यासाचे सुमारें १० पट आहे. **युरेनस** ह्या ग्रहाचा व्यास पृथ्वीच्या व्यासाचे ४ १/४ पट आहे; आणि **नेप्च्यून** ह्या ग्रहाचा व्यास पृथ्वीच्या व्यासाच्या ६ १/२ पट आहे.*

सूर्यमालेंतील ग्रह आकारमानाने एकमेकांशीं ज्या प्रमाणांत आहेत, त्यांची कांहीं कल्पना मनांत येण्या करितां पुढील युक्ति करावी. दोन फूट व्यासाचा एक गोल एका सपाट मैदानांत मध्यभागीं ठेवून तो **सूर्य** म्हणावा. त्याच मध्या पासून ८२ फूट त्रिज्येनें काढिलेल्या वर्तुलाचे परिघावर मोहरीचा एक दाणा ठेवून तो **बुध** म्हणावा; त्याच मध्यापासून १४२ फूट त्रिज्येनें काढिलेल्या वर्तुलाचे परिघावर एक वाटाणा ठेवून तो **शुक्र** म्हणावा; त्याच मध्यापासून २१५ फूट त्रिज्येनें काढिलेल्या परिघावर एक दुसरा वाटाणा ठेवून ती पृथ्वी म्हणावी; ६५४ फूट व्यासाचे वर्तुळावर मोठ्या टांचणीचें एक डोकें ठेवून तो **मंगळ** म्हणावा; १००० फुटां पासून १२०० फुटांपर्यंत लांबीच्या व्यासाच्या आठ वर्तुळांवर वाळूचे फारच बारीक आठ कण ठेवून त्यांस अनुक्रमें **वेस्ता, सीरीज, पालास, जूनो; आस्त्रेया, होबी, ऐरिस, मीतिस**, असें म्हणावें; सुमारें अर्ध मैल व्यासाचे वर्तुळावर एक मध्यम नारिंग ठेवून तो **गुरु** म्हणावा; चार पंचमांश मैल व्यासाचे वर्तुळावर एक लहानसें नारिंग ठेवून तो **शनि** म्हणावा; दीड मैल

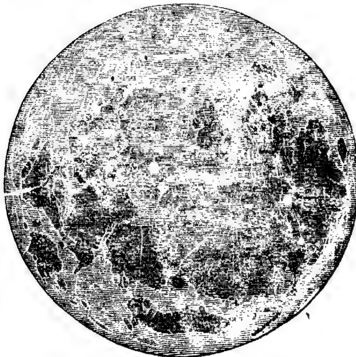
* सूर्य व ग्रह ह्यांच्या व्यासांची लांबी किती इंग्रजी मैल आहे, तें पुढील कोष्टकांत दाखविलें आहे.

सूर्य,	८८२०००	पृथ्वी,	७९१२	शनि,	७९०४२
बुध,	३१४०	मंगळ,	४१८९	युरेनस,	३५११२
शुक्र,	७७००	गुरु,	८९१७०	नेपच्यून,	५००००

व्यासाचे वर्तुलावर एक लहान बोर ठेवून तो **युरेनस** म्हणावा; आणि अडीच मैल व्यासाचे वर्तुलावर साधारण बोर ठेवून तो **नेपच्यून** म्हणावा. गणितानें असें समजलें आहे, कीं माहीत झालेल्या सर्व ग्रहांचीं एक गोल बनविला, तर तो गोल **सूर्याचे** गोलाच्या ६०० शाव्या भागाहून अधिक होणार नाहीं.

१२५. ग्रहांच्या व्यासांपासून त्यांचीं घनफळें म्हणजे महत्वें सहज काढितां येतात. वर सांगितलेल्या संख्यांचे घन केल्यानें पृथ्वीच्या महत्वाशीं ग्रहांच्या महत्वांचें, जें प्रमाण तें समजतें. **सूर्याचा** व्यास पृथ्वीच्या व्यासाच्या ११० पट आहे, म्हणून **सूर्याचें** महत्व पृथ्वीचे महत्वाच्या १३३१०००पट आहे. पृथ्वीपासून नक्षत्रांचीं अंतरें बरावर न समजल्यामुळें त्यांचीं महत्वें हीं बराबर समजत नाहींत. अतिसंनिध नक्षत्राचें अंतर **सूर्याच्या** अंतराचे २००००० पटींहूनही बहुत अधिक आहे. आणि नक्षत्रें एवढे मोठे अंतरावर असूनही आपले दृष्टीस पडतात. ह्यावरून तीं महत्वानें निदान **सूर्याएवढीं** तरी असलीं पाहिजेत.

१२६. **सूर्यमालेंतील** ग्रहांचीं महत्वें समजण्याकरितां अति सूक्ष्म वेध घेतांना असें दिसतें, कीं त्यांचे आकारांत मागें सांगितलेल्या चपटेपणाखेरीज दुसऱ्याच एका प्रकारचा अनियमितपणा आहे. कितीएकांचा पृष्ठभाग पृथ्वीच्या पृष्ठभागाप्रमाणें डोंगराळ आहे. **चंद्राच्या** पृष्ठभागावर डोंगर आणि खोरीं दिसतात. (आकृति पहा). जेव्हां



चंद्रावरील डोंगर प्रकाशित भागाच्या कडेजवळ असतात, तेव्हां त्यांची जी सावली पडते, तीवरून कितीएका डोंगरांच्या उंची काढिल्या आहेत. जर चंद्राचा गोल अगदीं गुळगुळीत असता, म्हणजे उंच सखल नसता, तर प्रकाशित भागावर पडलेल्या सावलीची कोर वर्तुलाकार दिसती, परंतु ती कोर वांकडी तिकडी दिसते; म्हणून चंद्रावरील भाग उंच सखल आहे. चंद्रावरील डोंगरांमध्यें जो उंच डोंगर त्याची उंची १¾ इंग्लिश मैल आहे. बुध आणि शुक्र ह्यांचाही पृष्ठभाग डोंगराळ आहे, असें अनुमान करण्याजोगीं कांहीं चिन्हें ह्यांवर दिसतात.

१२७. ग्रहांभोंवतीं वाय्वावरण आहे किंवा नाहीं ही गोष्ट वेधांनींच निश्चित करितां येते. जर भोंवतालच्या वाय्वावरणानें ग्रह आपणास धुकट दिसले, तर त्यां भोंवतीं वाय्वावरण आहे, असें खचित होतें. आतां एक दोन ग्रह मात्र कधींमधीं धुकट दिसतात; पण जो ग्रह धुकट दिसत नाहीं, त्याभोंवतीं वाय्वावरण नाहींच, असेंही म्हणतां येत नाहीं. कधींमधीं दोन खस्थ पदार्थांचा समागम होतो, तेव्हां त्यांच्या बिंबाच्या स्पर्शावरून पहिल्या भोंवतीं वाय्वावरण आहे, किंवा नाहीं हें निश्चित समजतें. जर चंद्राभोंवतीं वाय्वावरण असलें, तर त्या वाय्वावरणानें, जेव्हां त्याचा कोणत्याही ताऱ्यांशीं समागम होतो, तेव्हां त्या ताऱ्यांचें अदृश्य होणें आणि पुनः दिसणें, ह्यांच्यामधील काल गणितानें आणिलेल्या कालापेक्षां चंद्राच्या पृष्ठावरील क्षितिजकिरणवक्रीभवनाच्या दुप्पटीनें कमी होईल; परंतु असा भेद कधींही पाहण्यांत येत नाहीं; म्हणून चंद्राभोंवतीं वाय्वावरण नाहीं, असें निश्चित होतें. चंद्राच्या पृष्ठावर पाणी असण्याचींही कांहींच चिन्हें दिसत नाहींत. आतां ही गोष्ट ग्रहांविषयीं अगदीं निराळी आहे. शुक्राभोंवतींचें वाय्वावरण पृथ्वीभोंवतील वाय्वावरणाइतकें घट्ट आहे, आणि बहुतकरून दुसऱ्या सर्व ग्रहांभोंवतींही वाय्वावरण आहे, असें दिसतें. ह्यावरून पृथ्वीप्रमाणें ग्रहांवर प्राणी वसत असतील, असा संभव वाटतो.

खस्थ पदार्थांचें स्वतांभोंवतीं फिरणें.

१२८. वर ज्या गोष्टी सांगितल्या, त्या ज्या रितीनें समजतात, त्याच रितीनें, असेंही समजतें, कीं बहुतकरून सर्व ग्रह आपणा भोंवतीं फिरतात. जर आपण एकादे ग्रहाचा पृष्ठभाग सूक्ष्मतेनें पाहिला, तर आपणास असें दिसतें, कीं त्या ग्रहावर लक्षांत राहण्याजोगीं कांहीं चिन्हें आहेत. आतां कोणत्याही ग्रहाच्या बिंबाकडे कितीएक दिवसपर्यंत आपण पाहत गेलों, तर त्या बिंबाचें स्वरूप क्रमा क्रमानें बदलत जातें, आज ज्या खुणा त्यावर पहाव्या, त्या नाहींतशा होऊन कांहीं वेळानें दुसऱ्याच दिसूं लागतात; व त्यां मागून त्यांच्या मागल्या, अशा क्रमानें सर्व पहिल्या खुणा पुनः दिसूं लागतात, असें नियमानें चालतें. ह्यावरून हें स्पष्ट आहे, कीं तो ग्रह नेहमीं आपले आंसा भोंवतीं फिरतो; आणि त्याचीं जीं निरनिराळीं स्वरूपें आपणास दिसतात, तीं ह्या फिरण्यानें दिसतात. आतां त्या ग्रहाच्या पृष्ठभागावरील एकादी प्रसिद्ध खूण एक वेळ दिसल्या पासून पुनः दिसेपर्यंत आपण त्या ग्रहाकडे नित्य पाहत गेलों, तर त्या ग्रहास आपले आंसा भोंवतीं एक फेरा करण्यास जो काल लागतो, तो आपणास समजेल; आणि असे बहुत फेरे पाहिल्यानें, त्या ग्रहाचें स्वतां भोंवतीं फिरणें एका नियमित वेगानें होतें, किंवा होत नाहीं, हेंही समजेल.

१२९. दूरदर्शक यंत्राची (म्हणजे दुर्बिणीची) माहिती झाल्यावर थोडेच दिवसांनीं, **ग्यालिलियो*** ह्यानें **सूर्याचा** पृष्ठभाग कसा काय आहे हें समजण्या करितां ह्या यंत्राची योजना केली. तेव्हां त्याला प्रज्वलित बिंबावर मोठे मोठे काळे डाग दिसले; आणि ते डाग त्यास कितीएक आठवडे पर्यंत दिसले खरे; तथापि त्यांतून एकही सदा स्थिर असा दिसला नाहीं. ह्या डागांच्या गतीवरून, **सूर्याचा** सर्व गोल आपले आंसा भोंवतीं फिरतो, असा त्यानें सिद्धांत केला; आणि

---

* इतली देशांत मोठा प्रसिद्ध ज्योतिषी होता.

तो सिद्धांत त्यानंतरच्या घेतलेल्या वेधांवरून दृढ झाला आहे. **सूर्यास** आपले आंसा भोंवतीं एक फेरा करण्यास २५½ दिवस लागतात. **बुध** आणि **शुक्र** हे **सूर्याचे** सन्निध असल्यामुळें त्यांवर फार चकचकीत प्रकाश पडतो, तेणेंकरून त्यांच्या पृष्ठांवर ज्या कांहीं अचल खुणा आहेत, त्या पाहणें मोठें कठीण पडतें; तरी त्यांच्याही पृष्ठांवर ज्या कांहीं खुणा पाहण्यांत येतात, त्यांवरून असें समजतें, कीं ते दोन्ही ग्रह आपले आंसा भोंवतीं फिरतात; आणि त्या एक फेऱ्यास त्या प्रत्येकास सुमारें एक दिवस लागतो. **मंगळाचें** स्वतांभोंवतीं फिरणें सहज पाहतां येतें; त्याचा हा एक फेरा २४ अवर, ३९ मिन्युटें, आणि २१ सेकंद इतक्या कालानें होतो. तसेंच ज्या ग्रहाचें आंसा भोंवतीं फिरणें स्पष्ट पाहतां येतें, त्या ग्रहाच्या पृष्ठावरील ठिपके किंवा बिंदु कोणत्या दिशेनें फिरतात, हेंही पाहतां येतें; आणि ह्यावरून त्या ग्रहाचा आंस कोणत्या दिशांत आहे, म्हणजे आपल्या दृष्टीनें उभा आहे किंवा तिरपा आहे, हें समजतें. जर ते ठिपके क्षितिज समांतर फिरले, तर त्या ग्रहाचा आंस क्षितिजलंब होईल. जर ते ठिपके खस्थ विषुववृत्ताशीं समांतर फिरले, तर त्या ग्रहाचा आंस भचक्राच्या आंसाशीं समांतर होईल. ह्या प्रमाणें **मंगळा**वरील ठिपक्यांची गति पाहिल्यानें असें समजतें, कीं त्याचा आंस क्रांतिवृत्ताच्या पातळीशीं ३०°, १८′ इतका कललेला आहे, आणि त्याचे फिरण्याची दिशा पश्चिमेकडून पूर्वेकडे आहे. **गुरु** आपले आंसाभोंवतीं फारच जलद फिरतो. त्याच्या ह्या फिरण्याचा एक फेरा १० तासांत होतो. **शनीस** आपले आंसाभोंवतीं एक फेरा करण्यास १०¼ तास लागतात. पृथ्वी प्रमाणें, सर्व ग्रह आपले आंसाभोंवतीं पश्चिमेकडून पूर्वेकडे फिरतात.

१३०. ग्रहांचे स्वतांभोंवतीं फिरण्याचे जे काल सांगितले, ते, आणि त्यांची चपटेपणाचीं जीं मानें मागें सांगितलीं तीं, ह्यांचे मध्यें एक चमत्कारिक संबंध दिसतो. जे ग्रह आपले आंसाभोंवतीं फारच जलद फिरतात, ते फारच चापट असतात. सर्व ग्रहांत **गुरु** आपले आंसाभोंवतीं अतिशय जलद फिरतो, आणि तो सर्वां पेक्षां चापटही

अधिक आहे.' चंद्राचा आकार प्रायः पूर्ण गोलरूप आहे, आणि त्याचें स्वतांभोंवतीं फिरणेंही इतकें मंद आहे, कीं त्याच्या फिरण्याचा एक फेरा होण्यास २७⅓ दिवस लागतात. आणखी, असें गाहींयांत येतें, कीं प्रत्येक ग्रहाचा जो लघुतम व्यास तो त्याच्या फिरण्याचा आंस आहे. पृथ्वीच्या दोहों ध्रुवांच्या मधील अंतर विषुववृत्ताच्या व्यासाहून जसें कमी आहे, तसेंच प्रत्येक ग्रहाच्या एका ध्रुवापासून दुसऱ्या ध्रुवापर्यंत अंतर त्याच्या आंसास लंबानें दुभागणारा जो त्याचा व्यास त्याहून कमी आहे. गोलाचा चपटेपणा आणि त्याचें आंसाभोंवतीं फिरणें, ह्यांचे मध्यें जो हा संबंध आहे, तो केवळ साहजिक नव्हे; तर पहिली गोष्ट दुसऱ्या गोष्टीचें कार्य होय. मऊ विणकरीचा एकादा चेंडू घेऊन तो मोठ्या वेगानें स्वतांभोंवतीं फिरत ठेविला, तर तो मध्यें फुगीर होतो आणि शेवटांकडे आकुंचित होतो. ह्यावरून असें दिसतें, कीं पृथ्वीवरील पदार्थांत ज्या क्रिया घडतात, त्याच क्रिया आकाशांतील पदार्थांत घडतात. कुंभाराच्या चाकावर मातीचा गोळा ठेवून, तो चाकाला गति देऊन फिरविला, तर तो गोळा जसा आपला वाटोळेपणा टाकून लांबोडा होतो, तसा आपलेभोंवतीं फिरणारा ग्रह आपला वाटोळेपणा टाकून लांबोडा होतो.

१३१. आतां आपणास ग्रहांच्या कक्षांविषयीं, म्हणजे ते भचक्राभोंवतीं ज्या मार्गांनीं फिरतात, त्यांविषयीं, विचार करणें आहे. प्रत्येक चल तारा पाहिजे त्यावेळीं आपणापासून किती दूर असतो, हें समजल्यावर तो अंतरालांतून ज्या कक्षेनें फिरतो, तिची वास्तविक आकृति काढणें अगदीं सुलभ आहे. एथें ही एक गोष्ट सांगण्याजोगी आहे. ती ही, कीं **सूर्य**, **चंद्र**, अथवा कोणताही एकादा ग्रह, ह्याचें एकवेळचें अंतर आणि त्या अंतरावर असतां त्याच्या बिंबाचा व्यास हीं समजल्यानें त्या बिंबव्यासांतील फेरफारांवरून त्यांच्या अंतरांतील फेरफार समजतो. चंद्राच्या बिंबाचा व्यास कधीं कधीं अर्धे अंशाहून अधिक, आणि कधीं कधीं अर्धे अंशाहून कमी असतो; ह्यावरून असें सिद्ध होतें, कीं तो पहिल्यावेळीं आपणापासून जितका दूर असतो,

त्यापेक्षां दुसऱ्यावेळीं अधिक दूर असतो. मंगळाचा दृश्यव्यास ४ विकलांपासून १८ विकलांपर्यंत बदलतो. त्याचा दृश्यव्यास ४ विकला असतां आपणापासून त्याचें जें अंतर, तें अंतर त्याचा दृश्यव्यास १८ विकला असतां त्याचें जें अंतर त्याच्या ४ $\frac{१}{२}$ पट असतें. गुरूच्या बिंबाचा व्यास ३० विकलांपासून ४६ विकलांपर्यंत बदलतो. सारांश, कोणमापक उत्कृष्ट यंत्रानें कोणत्याही चल ताऱ्यांच्या बिंबाचा व्यास बरोबर मोजल्यास, तो तारा आपणापासून साधारणपणें जितका दूर असतो, त्यापेक्षां अधिक किंवा कमी दूर आहे, हें आपणास एकदम समजतें. ह्यावरून चलताऱ्यांच्या कक्षांच्या वास्तविक आकृति कशा आहेत, हें सांगण्यास आपणास आतां कठिण पडणार नाहीं; परंतु त्या सांगण्याचे पूर्वी, पृथ्वीला गति आहे, असें जें मागें सांगितलें, त्या गोष्टीचा विचार करितां, कांकीं पृथ्वीच्या गतीची बरोबर माहिती झाल्यानें चलताऱ्यांच्या कक्षा समजण्यास सुलभ पडतात.

पृथ्वीच्या गति.

१३२. अलीकडे तीनशें वर्षे ज्योतिःशास्त्रज्ञ असें मानतात, कीं भचक्राचें दैनंदिन भ्रमण आणि ताऱ्यांमधून सूर्याची वार्षिक गति, ह्या वास्तविक गति नाहींत, तर पृथ्वीच्या आंगच्या दोन भिन्न भिन्न गतींमुळें उत्पन्न झालेले केवळ आभास आहेत. हें सर्व नभोमंडळ आणि ग्रहांच्या गमनमार्गांचा मध्य जो सूर्य, तो, हीं दोन्ही वास्तविकपणें स्थिर आहेत. हें मत प्रथमतः **कोपर्निकस*** साहेबानें काढून सन १५४३ सांत प्रसिद्ध केलें, म्हणून ह्या मतास **कोपर्निकसाचा** सिद्धांत असें म्हणतात.

१३३. पृथ्वी दोन ध्रुवांच्या मधून जाणाऱ्या आंसाभोंवतीं पश्चिमेकडून पूर्वेकडे फिरून २३ अवर ५६ मिन्युटें इतक्या कालांत एक फेरा करिते, व हा फेरा एका दिवसांत म्हणजे अहोरात्रांत झाल्यामुळें पृथ्वीच्या ह्या गतीस दैनंदिनगति म्हणतात. पृथ्वी सूर्या भोंवतीं त्यापासून

* पोलंड देशांतला एक ज्योतिषी होता.

सुमारें ९,५०,००,००० मैल अंतरानें फिरून, त्या फिरण्याचा एक फेरा सुमारें ३६५ दिवस ६ अवर इतक्या कालानें म्हणजे एका वर्षांत करिते; म्हणून पृथ्वीच्या ह्या दुसऱ्या गतीस वार्षिक गति म्हणतात. प्रथमतः आपण दैनंदिनगति विषयीं विचार करूं.

१३४. पृथ्वी आपल्या आंसाभोंवतीं सतत फिरत असल्यामुळें, तिच्या विषुववृत्तावर राहणारे लोक दर तासास १००० मैलांहून अधिक, आणि **पुण्यां**त राहणारे लोक दर तासास सुमारें ८५५ मैल गमन करितात, असें सकृद्दर्शनीं मानणें फार कठीण वाटतें. एवढ्या मोठ्या वेगानें आपण (**पुण्यां**तील लोक) जात आहों, हें आपल्या ध्यानीं मनीं देखील येत नाहीं. आपणास असें वाटतें, आपण भक्कम आणि सदा स्थिर अशा स्थानीं आहों, परंतु असें वाटतें, एवढ्यावरूनच पृथ्वी अशीच आहे, असें म्हणणें बराबर नाहीं; कांकीं, ज्या स्थानीं आपण आहों, तें स्थिर असल्यास तें हालविण्यास, किंवा हालत असल्यास, तें स्थिर करण्यास आपणास स्वतां कांहीं यत्न पडत नसल्यास तें स्थान चल असलें तरी स्थिर आहे, असें आपणास वाटतें. ह्यास दृष्टांत; गलबत चालत असतां त्यावरून आपण पाण्याकडे खालीं पाहूं लागलों, तर असें आपणास वाटतें, कीं पाणी जोरानें गलबताचे शेजारून वाहत जात आहे, आणि गलबत स्वतां स्थिर आहे, असेंच, जर आपण संथ चाललेल्या गाडींत बसून, बाहेरील पदार्थांकडे पाहूं लागलों, तर आपण स्थिर आहों, आणि बाहेरील सर्व पदार्थ क्रमाक्रमानें आपल्या बाजूनीं जात आहेत, असें आपणास भासतें, (ही गोष्ट आगेच्या गाडींत बसल्यानें फार चांगली अनुभवास येते.) आणखी, जर आपण संथ चाललेल्या गाडींत बसून तिच्या सर्व खिडक्या लावून घेतल्या, तर ती गाडी चालत आहे किंवा नाहीं हें आपणास स्वतांचे ज्ञानानें सांगतां येत नाहीं. जर आपण खिडकींतून बाहेरील पदार्थ जातांना पाहिले, तर ते पदार्थ आपल्या बाजूंनीं जात आहेत, किंवा आपण त्यांचे पुढें जात आहों, हें आपणास लागलेंच समजत नाहीं. पृथ्वीच्या गतीनें अशीच गोष्ट घडते. पृथ्वी आपले आंसाभोंवतीं

नेहमीं संथ आणि एकसारखी फिरते. ती कधींहि, मध्येंच थांबत नाहीं, किंवा हदळत जात नाहीं; अशा प्रकारच्या तिच्या ह्या गतीनें आपण आकाशाच्या प्रत्येक भागासमोर येतों; म्हणून आपणास आतां तान्यांचा एक पुंज दिसत असतो, आणि घटकेनें दुसराच पुंज दिसूं लागतो; आणि ह्यामुळें सर्व भचक्र आपणाभोंवतीं फिरतें असें आपणास वाटतें. पृथ्वी स्थिर असून नभोमंडल फिरल्यानें होणारा परिणाम, आणि नभोमंडल स्थिर असून पृथ्वी स्वतां भोंवतीं फिरल्यानें होणारा परिणाम ह्या दोहोंत कांहीं भेद पडत नाहीं, ह्याकरितां नभोमंडल पूर्वेकडून पश्चिमेकडे फिरतें, किंवा पृथ्वी पश्चिमेकडून पूर्वेकडे फिरते, ह्या गोष्टीचा निश्चय केवळ दर्शनावरून करितां येत नाहीं; तर त्यांचा निर्णय करण्यास दुसरीं स्वतंत्र प्रमाणें पाहिजेत. आतां हा सर्व परिणाम तारे स्थिर असून पृथ्वीच्या स्वतां भोंवतीं फिरण्यानें होतो, ह्या विषयीं जीं प्रमाणें आहेत, तीं खालीं सांगतों.

१३५. १ लें, पृथ्वीचा विस्तार अति मोठा दिसतो, आणि सर्व खस्थ पदार्थ तिशीं लावून पाहिले असतां फारच लहान दिसतात, ह्यावरून सर्व खस्थ पदार्थ पृथ्वी भोंवतीं फिरतात, असें जें प्राचीन लोकांस वाटत असे, तें स्वाभाविकच आहे; परंतु आलीकडे असें समजलें आहे, कीं पृथ्वी आकारमानानें **शुक्रा**पेक्षां मोठी नाहीं व **सूर्या**च्या संबंधानें जर ती पाहिली, तर **हिमालय** पर्वतापुढें जसा एकादा लहान खडा, तशी दिसेल; आणि सर्व विश्वाच्या संबंधानें तिचा विचार करूं लागलों, तर मोठ्या झाडींत जसें एकादें पान, किंवा समुद्रतीरावर जसा एकादा वाळूचा कण, तशी ती क्षुल्लक भासते. तेव्हां असल्या यत्किंचित् पृथ्वीरूप गोला भोंवतीं मागें सांगितलेल्या अचिंतनीय अंतरावरचें तारांगण फिरतें, असें मानणें नीट दिसत नाहीं. आतां पृथ्वी स्वतांभोंवतीं फिरते, असें मानल्यानेंही भचक्रभ्रमणाच्या दर्शनाची उपपत्ति होते, ह्मणून पृथ्वी स्वतांभोंवतीं फिरते, असें मानणेंच वरच्या कल्पनेपेक्षां सयुक्तिक दिसतें.

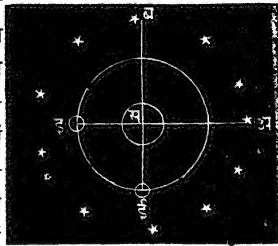
१३६. २ रें, पृथ्वीपासून ज्यांचीं अंतरें काढितां येतात, अशा

चलताऱ्यांच्या अनियमित गमनावरून असें दिसतें, कीं पृथ्वीच्या सन्निध असणारे जे खस्थ पदार्थ त्यांस सुद्धां नियमानें फिरावयास लावण्याजोगा तिच्या आंगीं मोठेपणा नाहीं; तेव्हां तिजपासून फारच दूर जीं नक्षत्रें त्यांस ती आपणा भोंवतीं नियमितपणें फिरविते, असें म्हणणें किती अयुक्तिक आहे बरें?

१३७. ३ रें, मागें असें सिद्ध केलें आहे, कीं पृथ्वी बहुत गोष्टींनीं इतर ग्रहांप्रमाणेंच आहे, म्हणजे ती त्यां प्रमाणें गोलरूप असून आकारमानानें कितीएक ग्रहां पेक्षां मोठी आहे, आणि कितीएकां पेक्षां लहान आहे. आतां सर्व ग्रह तर आपले आंसाभोंवतीं फिरतात, तेव्हां पृथ्वीही आपले आंसा भोंवतीं फिरते, असें म्हणणें सयुक्तिक दिसतें; कांकीं एवढ्याच गोष्टीनें पृथ्वी इतर ग्रहांहून भिन्न आहे, असें म्हणण्या जोगे पृथ्वीमध्यें कोणतेही विशेष धर्म सांपडत नाहींत. पहा, **शुक्र** आकारमानानें पृथ्वी एवढाच आहे, आणि तो सुमारें एका दिवसांत आपले आंसाभोंवतीं एक फेरा करितो; म्हणून पृथ्वी आपले आसांभोंवतीं तितक्याच कालांत एक फेरा करिते, अशी कल्पना करणें स्वाभाविक आहे.

१३८. ४ थें, असें सिद्ध झालें आहे, कीं कोणताही एकादा मृदु गोळा सभोंवतीं फिरविला, तर तो मध्यें फुगीर होतो, आणि शेवटांकडे, म्हणजे जिकडे त्याचे ध्रुव असतात, तिकडे चापट होतो. हें मध्यभागीं फुगीर होणें आणि ध्रुवांकडे चापट होणें सर्व ग्रहांमध्यें आहे, आणि जे ग्रह स्वतांभोंवतीं फारच जलद फिरतात, त्यांमध्यें हें अतिशयितच आहे. असा चापटपणा पृथ्वीमध्येंही आहे. पृथ्वीची विषुववृत्ताशीं जी जाडी आहे, ती दोन ध्रुवांच्या मधल्या जाडीपेक्षां अधिक आहे; आणि ह्या कमजास्त जाडीचें कारण पृथ्वीचें स्वतां भोंवतीं फिरणें ह्यापेक्षां दुसरें कांहीं दिसत नाहीं. पृथ्वीचा चापटपणा बहुतकरून **शुक्रा**च्या चापटपणा इतका आहे, आणि **शुक्रा**चें आकारमान आणि आंसाभोंवतीं फिरण्याचा काल हीं पृथ्वीचे आकारमान आणि आंसाभोंवतीं फिरण्याचा काल ह्यांशीं बहुतकरून जमतात.

१३९. आतां आपण पृथ्वीच्या वार्षिक गतीविषयीं जीं प्रमाणें आहेत, त्यांचा विचार करूं. सूर्य दरवर्षी पृथ्वीभोंवतीं तीपासून ९५,०००,००० मैल अंतरानें एक प्रदक्षिणा करितो, असें दिसतें खरें; परंतु वास्तविक म्हटलें तर सूर्य अचल आहे, आणि त्याभोंवतीं पृथ्वी दरवर्षी एकप्रदक्षिणा करिते. पृथ्वी सूर्याभोंवतीं फिरल्यानें होणारें दर्शन व सूर्य पृथ्वीभोंवतीं फिरल्यानें होणारें दर्शन हीं अगदीं समान होतील. जरी पृथ्वी सूर्याभोंवतीं फिरली, तरीही आपणास असेंच दिसेल, कीं सूर्य ताऱ्यामधील आपले स्थान बदलतो. ह्या आकृतींत स हा सूर्य आहे, आणि इ ही पृथ्वी आहे, तर पृथ्वीवरील पाहणाऱ्यास सूर्य ताऱ्यांमध्यें अ स्थानीं दिसेल; जर पृथ्वी सूर्याभोंवतीं फिरून ई ठिकाणीं आली, तर ती वरील पाहणारास सूर्य ताऱ्यांमध्यें ब स्थानीं दिसेल आणि सूर्याचें हें स्थान आणि पहिलें स्थान अ ह्याचेमधील अंशात्मक अंतर, पृथ्वीचें पहिलें स्थान इ आणि दुसरें स्थान ई ह्यांचेमधील अंशात्मक अंतराबरोबर होईल; आतां अ स्थानापासून ब स्थान ज्या दिशेस आहे, तिच्या विपरीत दिशेस मात्र इ स्थानापासून ई स्थान होईल. ह्याप्रमाणें पृथ्वीच्या गतीनेंही सूर्याचें ताऱ्यांमधील दृश्यमान स्थान बदलेल; आणि सूर्याभोंवतीं पृथ्वीची एक पूर्ण प्रदक्षिणा झाली, म्हणजे सूर्याची ताऱ्यांमधील एक पूर्ण प्रदक्षिणा झाली असें वाटेल. म्हणून सूर्य फिरतोसा दिसतो, तरी तो फिरतोच असें म्हणतां येत नाहीं. सूर्य स्थिर असून त्याभोंवतीं पृथ्वी फिरते किंवा पृथ्वी स्थिर असून तीभोंवतीं सूर्य फिरतो, ह्याचा निश्चय ज्या प्रमाणांनीं करतां येतो, तीं प्रमाणें सांगतों.



१४०. १लें, सूर्य आकारमानानें पृथ्वीपेक्षां, इतका मोठा आहे,

कीं तो पृथ्वीभोंवतीं फिरतो, असें मानण्यापेक्षां, तो आपणाभोंवतीं पृथ्वीस फिरवितो, असें मानणें सयुक्तिक दिसतें.

१४१. २ रें, इतर सर्व ग्रह सूर्याभोंवतीं फिरतात. आणि पृथ्वी ह्या गोष्टीनें मात्र इतर ग्रहांतून भिन्न आहे, असें मानण्याजोगा कोणताही विशेष धर्म पृथ्वीच्या आंगीं दिसत नाहीं. गणित आणि वेध ह्यांच्या योगानें असें सिद्ध करितां येतें, कीं सव ग्रह सूर्याभोंवतीं बहुतकरून वर्तुलांत फिरतात; भेद इतकाच कीं, कितीएक सूर्यापासून पृथ्वीपेक्षां दूर आहेत, आणि कितीएक पृथ्वीपेक्षां जवळ आहेत.

१४२. ३ रें, ग्रह कधींमधीं विलोमगति दिसतात, आणि ते विलोमगति कां दिसतात, ह्याची समर्पक उपपत्ति पृथ्वीच्या आंगीं गति मानल्यानें मात्र होते. जर कोणी सूर्यावर उभें राहून ग्रहांकडे पाहूं लागला, तर असें दिसेल, कीं सर्व ग्रह पश्चिमेकडून पूर्वेकडे सतत एकसारखे गमन करीत आहेत, ते कधींही मध्यें मध्यें थांबत नाहींत, किंवा मागें फिरत नाहींत; आणि कधींही त्यांचा गमनवेग कमी किंवा अधिक होत नाहीं; परंतु तो एकादे ग्रहावर उभें राहून इतर ग्रहांकडे पाहूं लागला, तर त्या ग्रहांच्या वास्तविक गति स्वतां त्या पाहणाऱ्याच्या आंगीं गति असल्यामुळें त्यास निराळ्याच प्रकारच्या दिसूं लागतील. आपण जीवर राहतों, ती पृथ्वी दुसऱ्या एकाद्या ग्रहापेक्षां जलद चालत असली, तर तो ग्रह आपणास मागें जातोसा दिसेल; म्हणजे त्या ग्रहाचें ताऱ्यांमधील स्थान मागें सरतांना दिसेल; जेव्हां पृथ्वी त्या ग्रहाच्या गतीच्या समांतर दिशेनें जात असतां, आपल्या कक्षेच्या आंतले बाजूकडे वळूं लागेल, तेव्हां त्या ग्रहाची विलोमगति बंद होऊन, तो खरोखरी पुढें जातोसा दिसूं लागेल; परंतु पृथ्वी आणि तो ग्रह गमन करितां करितां अशा एका स्थानीं येतील, कीं जेथें त्या दोघांची पुढें जाण्यांची गति समान होईल, आणि असें झालें म्हणजे तो ग्रह अगदीं स्थिर आहेसा दिसेल. आणखी, जेव्हां आपली पृथ्वी त्या ग्रहाच्या गतीच्या विपरीत दिशेनें जाऊं लागेल, तेव्हां तो ग्रह अंतरालांत मोठ्या वेगानें पुढें जात आहे, असें आपणास दिसेल.

१४३. जर पृथ्वीला गति असली, तर ग्रह वस्तुतः नियमानें फिरत असतांही, त्यांचीं गमनें वर सांगितल्याप्रमाणेंच अनियमित दिसलीं पाहिजेत, आणि ग्रहांमध्यें गमन करण्याचे जे अनियमित प्रकार दिसतात, ते जर आपण त्याकालची पृथ्वीची गति आणि स्थिति ह्यांच्या संबंधानें पाहिलें, तर त्या अनियमितपणाची यथास्थित उपपत्ति होते. सूर्यापासून अति संन्निध असणारे जे बुध आणि शुक्र ते, सूर्यापासून त्यापेक्षां दूर असणारी जी पृथ्वी, ती सूर्याभोंवतीं फिरते, असें मानल्यानें जेव्हां विलोमगामी (म्हणजे उलटे जाणारे,) स्थिर, आणि शीघ्रगामी दिसावे, तेव्हांच ते तसे दिसतात; आणि सूर्या पासून पृथ्वीपेक्षांही दूर असणारे जे मंगळ, गुरु, शनि, इत्यादि ग्रह ते पृथ्वीच्या सूर्याभोंवतींच्या शीघ्र गमनामुळें ज्या वेळेस विलोमगामी दिसावे, त्या वेळेसच ते खरोखरी विलोमगामी दिसतात. कोपर्निकस साहेबाचा सिद्धांत चोंहीकडे मान्य होण्याचे पूर्वीं कितीएक ज्योतिश्शास्त्रज्ञ असें मानीत, कीं सूर्याभोंवतीं सर्व ग्रह फिरतात, व सूर्य सर्व ग्रहासुद्धां पृथ्वीभोंवतीं फिरतो; परंतु सूक्ष्म विचार करून पाहिलें असतां इतर सर्व ग्रहांच्या कक्षांचा मध्य जो सूर्य तो त्या ग्रहांसुद्धां पृथ्वीभोंवतीं फिरतो, असें मानणें अगदीं संभवदुक्तिक दिसत नाहीं.

१४४. पृथ्वी सूर्याभोंवतीं फिरल्यामुळें खस्थ पदार्थांच्या वास्तविक स्थानांत आणि दृश्यमानस्थानांत जो भेद पडतो, त्यास वार्षिक लंबन अथवा शीघ्रफल म्हणतात. खस्थ पदार्थांचे पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरून घेतलेले जे वेध, त्यांस पृथ्वीच्या महत्वामुळें होणारा जो लंबन संस्कार तो देऊन पृथ्वीच्या मध्यापासून घेतलेले वेध जसे आणावे लागतात, तसेच पृथ्वीला गति आहे असें सिद्ध केल्यावर पृथ्वीच्या मध्यापासून घेतलेल्या वेधांस कांहीं संस्कार देऊन सूर्यापासून घेतलेले वेध आणावे लागतात. कांकीं सूर्यमालेंत सूर्य मात्र स्थिर आहे. पृथ्वीचे पृष्ठावरून घेतलेल्या वेधांपासून तिच्या मध्यांतून घेतलेले वेध आणिते वेळेस जो संस्कार करितात, त्यास आन्हिक किंवा दैनंदिन लंबन म्हणतात; आणि ह्या वेधांपासून तिच्या वार्षिक गमनाच्या मध्यांतून म्हणजे सूर्याच्या

मध्यांतून घेतलेले वेध आणिते वेळेस जो संस्कार करितात, त्यास वार्षिक लंबन म्हणतात. जर ग्रहांचीं अंतरें समजलीं, तर गणितानें त्यांचीं हीं दोन्ही लंबनें सहज काढितां येतात, आणि जर वेधानें एकाद्या ग्रहाचें ह्या दोन लंबनांतून कोणतेंही एक समजलें, तर त्यापासून त्याचें अंतर सहज काढितां येतें.

१४५. ४ थें, कोणत्याही ग्रहाचा किंवा सूर्याचा प्रकाश पृथ्वीवर येऊन पोंहचण्यास कांहीं काल लागतो, ही गोष्ट समजून सुमारें दोनशें वर्षें झालीं. सूर्याचा प्रकाश पृथ्वीवर येऊन पोंहचण्यास आठ मिन्युटें लागतात; ह्यावरून असें सिद्ध होतें, कीं प्रकाश दर सेकंदांत १,९२,००० मैल चालतो. आतां जर पृथ्वी अगदीं स्थिर असती तर प्रकाशाच्या ह्या गतीनें एवढें मात्र घडतें, कीं कोणताही एकादा ग्रह पृथ्वीपासून जसजसा दूर जातो, तसतसा त्याचा प्रकाश पृथ्वीवर येण्यास अधिक काल लागता; परंतु प्रकाशकिरण पृथ्वीकडे येत असतां, पृथ्वी एक स्थल सोडून दुसरे स्थलीं गेली, तर ते किरण ज्या दिशेनें पृथ्वीकडे येत होते, तीहून अन्य दिशेनें पृथ्वीवर येऊन पोंहचतील; आणि ह्यामुळें ते किरण ज्या खस्थ पदार्थापासून निघाले असतील, ते खस्थ पदार्थ ज्या दिशेनें वास्तविक दिसावे, तीहून भिन्न दिशेनें दिसतील. पाऊस पडत असतां, जर एकादा मनुष्य अंगणांत उभा राहिला, तर तो ज्या दिशेनें पडत असेल, त्याच दिशेनें त्या मनुष्यावर पडेल; परंतु तो मनुष्य जर धांवत असला, तर त्या मनुष्यास, तो ज्या दिशेनें पडतोसा वाटेल, ती दिशा, आणि तो ज्या दिशेनें वास्तविक पडत असेल, ती दिशा, ह्या वेगळ्या होतील. जर पाऊस अगदीं समोर पडत असला, तर त्यानें त्या मनुष्याची छाती आणि तोंड भिजून जाईल, आणि अर्थातच तो तिर्कस दिशेनें पडतो असें त्या मनुष्यास वाटेल. जर त्या पावसाच्या धारा एकादे विशेष यंत्रांतून सोडल्या आहेत, असें कल्पिलें, तर स्थिर असणाऱ्या मनुष्यास तें यंत्र डोक्यावर आहे, असें वाटेल; परंतु धावणाऱ्यास असें वाटेल, कीं तें यंत्र कलतें असल्यामुळें आपल्या छातीवर व डोईवर पाऊस पडतो. आतां प्रकाशाचे किरण

पृथ्वीकडे येत असतां, पृथ्वी एका स्थलाहून दुसरे स्थलीं जाते, म्हणून ते किरणे ज्या दिशेनें निघतात, त्याच दिशेनें पृथ्वीवर येऊन पोंहचत नाहींत; ते ज्या दिशेनें पृथ्वीवर येऊन पोंचतात, ती दिशा, ते ज्या दिशेनें निघतात, ती दिशा, आणि पृथ्वीच्या गमनाची दिशा, ह्यांच्या मध्यें असते; ह्यामुळें खस्थ पदार्थ ज्या दिशेनें आपणास दिसतात, ती दिशा, पृथ्वी स्थिर असतां ज्या दिशेनें दिसले असते, त्या दिशेहून भिन्न असते. ह्या प्रकारें तारे ज्या स्थानीं वास्तविक असतात, त्या स्थानाहून भिन्न स्थानीं दिसतात. खस्थ पदार्थांच्या वास्तविक आणि दृश्यमान स्थानांच्या मधील अंशात्मक अंतर पृथ्वीच्या वेगाप्रमाणें असतें, जर पृथ्वीचा वेग प्रकाशाच्या वेगा बराबर असता, तर वास्तविक आणि दृश्यमान स्थानांच्या मध्यें ४५ अंश अंतर पडतें; परंतु पृथ्वीची गति प्रकाशाच्या गतीच्या सुमारें दहा हजारावा भाग आहे; म्हणून वास्तविक आणि दृश्यमान स्थानांच्या मध्यें फारच थोडें अंतर पडतें; तरी तें अंतर २० विकला म्हणजे अंशाचा १८० वा भाग असल्यामुळें मोजतां येतें. अशा प्रकारचा परिणाम खरोखरी घडतो किंवा घडत नाहीं, हें पाहणें असल्यास पृथ्वी आपल्या कक्षेच्या समोरासमोरच्या स्थानीं असतां, एकाच ताऱ्याचीं स्थानें मोजावीं म्हणजे झालें. तिच्या कक्षेच्या एका स्थानीं प्रकाशकिरण तीकडे येत असतां तीपुढें जातो, ह्यामुळें तारे आपल्या वास्तविक स्थानांपेक्षां उंच दिसतात, आणि त्या स्थानाच्या समोरच्या स्थानीं प्रकाशकिरण तीकडे येत असतां ती मागें जाते, ह्यामुळें तेच तारे आपल्या वास्तविक स्थानाच्या खालीं दिसतात, म्हणजे वास्तविक स्थानें आणि दृश्यमान स्थानें ह्यांच्यामध्यें ह्या स्थानीं जो भेद पडतो, तो पूर्व स्थानच्या भेदाच्या उलट असतो. ह्या प्रकारें पडणाऱ्या ताऱ्यांच्या दृश्यमान स्थानांतील भेद, सहा महिन्यांचे अंतरानें एकाच ताऱ्याचे दोन वेध घेतल्यानें सहज पाहतां येतो. मागील शतकांत ब्राड्ली साहेबानें ही कल्पना काढिली, कीं सर्व ताऱ्यांचें वास्तविक स्थान दृश्यमान स्थानाहून भिन्न असतें, आणि प्रत्येक वेळीं त्या स्थानांच्या मधील भेद पृथ्वीची

गति आणि प्रकाशाची गति ह्यांचे योगानें जितका असावा, तितकाच असतो, म्हणजे त्या दोघांच्या गतींवरून गणितानें आणिलेल्या भेदां बरोबर असतो. पृथ्वी क्रांतिवृत्तांत फिरते; म्हणून क्रांतिवृत्ताजवळ असणाऱ्या ताऱ्यांत हा भेद फार असतो, आणि क्रांतिवृत्तापासून कोणताही खस्थ पदार्थ जसजसा दूर असतो, तसतसा त्याच्या वास्तविक आणि दृश्यमान स्थानांच्या मधील हा भेद कमी होतो.

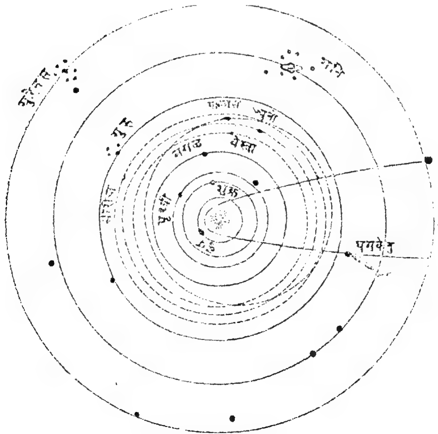
१४६. वर सांगितलेल्या गोष्टींवरून तर पृथ्वीच्या आंगीं वार्षिक गति आहे, ह्याविषयीं अगदींच संशय नाहींसा झाला. कारण कीं, खस्थ पदार्थांच्या दर्शनांत पडणाऱ्या ह्या भेदाची उपपत्ति पृथ्वी **सूर्या**भोंवतीं ९,५०,००,००० मैल त्रिज्येच्या वर्तुलांत फिरते असें मानिल्या वांचून मुळींच होत नाहीं. आतां हा एक संस्कार, किरणवक्रीभवन आणि दोन प्रकारचीं लंबनें, ह्या संस्कारांखेरीज नवीन सिद्ध झाला, व हाही संस्कार त्या संस्कारां प्रमाणेंच खस्थ पदार्थांचें वास्तविक स्थान समजण्या करितां, त्यांच्या वेधांस करावा लागतो.

सूर्यमाला.

१४७. पृथ्वीस दैनंदिन आणि वार्षिक अशा दोन गति आहेत, असें मानलें असतां **सूर्य**, **सूर्य**मालेचा मध्य आहे, असें सहज सिद्ध होतें; आणि ह्या सिद्धांता प्रमाणें पाहिलें असतां **शुक्र**, **मंगळ**, आणि **गुरु**, ह्यांसारखी पृथ्वीही एक ग्रह असून, आणि त्यांप्रमाणेंच अचल आणि स्वयंप्रकाश जो **सूर्य** त्याभोंवतीं फिरत आहे, असेंही सिद्ध होतें. अमका एकादा ग्रह आपल्या कक्षेच्या कोणत्या स्थानीं आहे, हें काढणें झाल्यास तो पृथ्वीपासून ज्या स्थानीं दिसतो, तें स्थान काढिलें म्हणजे झालें, असें नाहीं, तर तो **सूर्या**पासून पाहिल्यानें ज्या स्थानीं दिसेल तें स्थान काढिलें पाहिजे. म्हणजे पृथ्वीवरून वेध घेतल्यानें एकाद्या ग्रहाचें विषुवांतर आणि क्रांति, अथवा शर आणि भोग हीं काढिलीं, तर ह्यांपासून त्रिकोनमितीनें **सूर्या**वरून वेध घेतला असतां त्याच ग्रहाचें विषुवांतर आणि क्रांति हीं किती येतील, हें काढिलें

पाहिजे. अशा कृत्यास सूर्यमध्यावलोकित (म्हणजे सूर्याचे मध्यापासून पाहिलेलें) ग्रहाचें स्थान काढणें असें म्हणतात, आणि पृथ्वीपासून पाहिलेलें ग्रहाचें जें स्थान त्यास भूमध्यावलोकित स्थान म्हणतात. तसेंच ग्रहाचें सूर्यापासून वास्तविक अंतर काढण्या करितां दर दिवसास अथवा दर तासास सूर्यापासून त्यांचें अंतर समजलें पाहिजे. पृथ्वीपासून एकादे ग्रहाचें अंतर समजलें, तर गणितानें सूर्यापासून त्या ग्रहाचें अंतर काढितां येतें. ह्याप्रमाणेंच प्रत्येक ग्रहाच्या गमनाचा वेग सूर्यापासून पाहिला, तर तो किती येईल, हेंही आपणास काढिलें पाहिजे. सर्व ग्रहांच्या कक्षांचा मध्य सूर्य आहे; म्हणून त्यापासून इतर सर्व ग्रहांकडे आपण पाहत आहों, असें मानल्यावांचून, त्यांच्या गमनाचे नियम बरोबर समजणें अशक्य आहे.

१४८. अर्वाचीन मताप्रमाणें सूर्यमालेची वास्तविक स्थिति कशी आहे, हें पुढील आकृतीवरून ध्यानांत येईल. सर्व आकृतीचे मध्यें सूर्य आहे, हा सर्व ग्रहांत मोठा आहे, आणि ह्यापासून सर्व ग्रहांस प्रकाश मिळतो. मध्यापासून पहिले वर्तुलांत बुध फिरतो; सूर्या



पासून ह्याचें अंतर सुमारें ३,७०,००,००० मैल आहे, आणि ह्यास **सूर्या**भोंवतीं एक प्रदक्षिणा करण्यास सुमारें ८८ दिवस लागतात. **बुधाचे** पलीकडे वर्तुलांत **शुक्र** फिरतो, **सूर्या**पासून ह्याचें अंतर ६,८०,००,००० मैल आहे. ह्यास **सूर्या** भोंवतीं एक प्रदक्षिणा करण्यास सुमारें २२५ दिवस लागतात. मध्यापासून तिसरे वर्तुलांत पृथ्वी फिरते, हिचें अंतर ९,५०,००,००० मैल आहे, हिला एक प्रदक्षिणा करण्यास ३६५¼ दिवस लागतात. चवथे वर्तुलांत **मंगळ** फिरतो, ह्याचें अंतर १४,४०,००,००० मैल आहे. ह्यास एक प्रदक्षिणा करण्यास ६८७ दिवस लागतात. **मंगळ** आणि **गुरु** ह्यांच्या वर्तुलांच्या मध्यें **फ्लोरा, ऐरिस, वेस्ता, हिवी, आस्त्रेया, जूनो, सीरिज, पालास,** आणि **मेतिज,** ह्या लहान लहान ग्रहांचीं वर्तुलें आहेत; म्हणून ह्या ग्रहांस **भौमगुरु**मध्यवर्ती ग्रह म्हणतात. हे सर्व **सूर्या**पासून बहुतकरून सारख्याच अंतरावर आहेत. ह्यांचे पलीकडील वर्तुलांत **गुरु** फिरतो, ह्याचें अंतर ४९,००,००,००० मैल आहे, ह्याची एक प्रदक्षिणा ४३३० दिवसांत म्हणजे सुमारें बारा वर्षांत होते. ह्याचे पलीकडील वर्तुलांत **शनि** फिरतो. त्याचें अंतर ९०,६०,००,००० मैल आहे. त्याची एक प्रदक्षिणा १०७४५ दिवसांत म्हणजे सुमारें ३० वर्षांत होते. **शनीचे** पलीकडील वर्तुलांत **युरेनस** फिरतो; ह्याचें अंतर १,८०,००,००,००० मैल आहे, ह्याची एक प्रदक्षिणा ८४ वर्षांत होते, शेवटचे वर्तुलांत नवीन शोधून काढिलेला ग्रह **नेप्चून** फिरतो. ह्याचें अंतर सुमारें २,९०,००,००,००० मैल आहे. ह्याची एक प्रदक्षिणा १६७ वर्षांत होते.*

---

* युरोपांतले ज्योतिषी सूर्यमालेंतील ग्रह दाखवण्याकरितां बहुत करून जीं चिन्हें योजितात, तीं खालीं दाखविलीं आहेत.

☼ ⊙ सूर्य,	♂ मंगळ,	⚴ पालास,
☿ बुध,	⚵ जूनो,	♃ गुरु,
♀ शुक्र,	⚶ वेस्ता,	♄ शनि,
⊕ पृथ्वी,	⚳ सीरिज,	♅ युरेनस (ह्यास हर्शल्हि म्हणतात.)
● ☽ ○ ☾ चंद्र,		

१४९. वर सांगितल्याप्रमाणें **सूर्य** आणि ग्रह ह्यांची माला आहे. परंतु कित्येक ग्रह स्वतां दुसऱ्या चल ताऱ्यांच्या वर्तुलांचे मध्य आहेत; आणि अशा चलताऱ्यांस **चंद्र** अथवा उपग्रह म्हणतात. मुख्य ग्रह जसे **सूर्या** भोंवतीं फिरतात, तसे उपग्रह ग्रहां भोंवतीं फिरतात. (१०१ पत्रावरील आकृति पहा.) आपला **चंद्र** पृथ्वीचा उपग्रह आहे, म्हणजे तो पृथ्वी भोंवतीं फिरतो. **गुरू**ला चार उपग्रह आहेत; **शनी**ला सात आहेत; **युरेनसा**ला दोन तर खचीत आहेत; **नेप्चुना**ला एक आहे. एकादा ग्रह आणि त्या भोंवतीं फिरणारे उपग्रह ह्यांस उपमाला म्हणतात.

केप्लरचे सिद्धांत.

१५०. ह्याप्रमाणें **सूर्यमाले**चें खरें स्वरूप समजल्यावर, भिन्न भिन्न ग्रहांच्या गमनांत जे कांहीं अचल नियम आहेत, त्यांविषयीं आतां आपणास विचार केला पाहिजे. ग्रहांच्या गमनांतील अचल नियम विख्यात जो **केप्लर*** **साहेब** त्यानें प्रथमतः शोधून काढिले. हे नियम तीन आहेत, त्यांस केप्लरचे नियम म्हणतात.

१५१. दोन वस्तूंतून एक समजली असतां दुसरी समजते, असा जो कांहीं त्या दोन वस्तूंच्या मध्यें अचल संबंध असतो त्यास नियम म्हणतात. जसें असा नियम आहे, कीं वाहतें पाणी खडकांस गुळगुळीत करितें; म्हणून जर आपण डोंगरा पासून निघालेला एकादा ओढा पाहिला; तर त्या डोंगराकडे पाहिल्या वांचून आपण असें समजावें, कीं त्याचा ओढ्या खालचा प्रदेश पाण्यानें झिजून गेला आहे; अथवा जर आपण वाटोळ्या दगडांनीं भरलेला मार्ग पाहिला, तर आपण असें समजावें, कीं कांहीं दिवसां पूर्वी त्या दगडांवरून पाणी वाहत जात होतें. आणखी असा नियम आहे, कीं ज्या रस्त्यानें गाड्या जातात येतात, त्या रस्त्यावर चकारी पडते म्हणून जर आपण कांहीं गाड्या येतांना पाहिल्या, तर त्या ज्या रस्त्यानें आल्या, त्या रस्त्याकडे पाहिल्या वांचून आपण

* जर्मनी देशचा महा प्रख्यात जोतिषी होता.

असें समजावें, कीं त्या रस्त्यावर चकारी पडली आहे; अथवा एकादे रस्त्यावर चकारी पडलेली पाहिली, तर आपण असें समजावें, कीं त्या रस्त्यानें गाडया आल्या गेल्या आहेत. जेथें नियम असतो त्या स्थलीं देहमीं एका अवलोकनानें निदान दोन तरी गोष्टी समजतात. उदाहरण, सर्व ग्रह आपापले आंसा भोंवतीच्या भ्रमणाच्या वेगाप्रमाणें चपटे असतात, असें समजल्यानें आपण असा सिद्धांत करितों, कीं आंसा भोंवतीचें भ्रमण चपटेपणास कारण आहे; ह्मणून जर आपणास एकादा ग्रह नव्यानें आढळला, आणि तो चपटा आहे, असें कळलें, तर आपण असें समजावें, कीं तो ग्रह आपले आंसा भोंवतीं फिरतो.

१५२. ग्रहांच्या गमनांच्या संबंधानें ज्या गोष्टी येतात, त्यांमध्यें केप्लरच्या नियमांनीं वर सांगितलेल्या प्रकारचा कांहींएक नियमित संबंध कळतो, आणि ह्या प्रकारें प्रत्यक्ष वेधांनीं होणारें ज्ञान वाढतें.

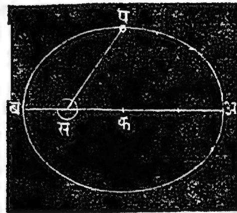
१५३. **पहिला नियम**.—भ्रमण वर्तुलांतील ग्रहाच्या गमनाचा अंशात्मक वेग, **सूर्या** पासून जें त्याचें अंतर, त्याच्या वर्गाच्या उलट प्रमाणांत असतो.

ग्रह **सूर्या** भोंवतीं ज्या मार्गांनीं फिरतात, ते मार्ग वर्तुलरूप आहेत, असें आम्ही मागें बहुत वेळ सांगितलें; परंतु ते मार्ग पूर्ण वर्तुलाकार नाहींत; वर्तुलाच्या जवळ जवळ आहेत; गणित करून भिन्न भिन्न कालचीं **सूर्या** पासून कोणत्याही ग्रहांचीं अंतरें आणिलीं, तर तीं एक-सारखीं येत नाहींत. **केप्लर** साहेबाच्या ह्या नियमानें प्रत्येक ग्रहाच्या गतीचा वेग आणि त्याचें **सूर्या** पासून अंतर ह्यांच्यामध्यें एक नियमित संबंध कळतो, तो हा, कीं जेव्हां अंतर वाढतें, तेव्हां वेग कमी होतो, आणि जेव्हां अंतर लघुतम होतें, तेव्हां वेग महत्तम होतो; परंतु गणित करितांना अंतराचा वर्ग केला पाहिजे; म्हणजे जर अंतर ९ चें १० झालें, तर वेग १०० : ८१ ह्या प्रमाणानें कमी होतो; म्हणून जर आपणास वेगांतील फेर समजला, तर अंतरांतील फेर समजण्या करितां आपणास वेध घेण्याचे श्रम पडणार नाहींत, कां कीं ह्या नियमानें पहिले फेरावरून दुसरा फेर काढितां येईल, ह्या नियमास सम-

क्षेत्रांचा नियमही म्हणतात; कारण, सूर्य आणि ग्रह ह्यांस सांधणारी जी रेषा, तिच्या फिरण्यानें (म्हणजे बदलण्यानें) जीं क्षेत्रें पडतात तीं सारखे कालांत सारखीं असतात. ह्या फिरणाऱ्या रेषेस चलत्रिज्या अथवा मंदकर्ण म्हणतात.

१५४. **दुसरा नियम.**—ग्रह सूर्याभोंवतीं ज्या मार्गांनीं फिरतात, ते मार्ग दीर्घ वर्तुलरूप आहेत, आणि त्या दीर्घ वर्तुलांच्या एका केंद्रांत (म्हणजे फोकसांत) सूर्य आहे.

दीर्घवर्तुळ ही एक नियमित आकृति आहे, आणि ह्या आकृतीचे धर्म प्राचीनकाळचे **ग्रीस** देशांतील गणितज्ञांस चांगले माहीत होते; परंतु ग्रहांचे भ्रमणमार्ग दीर्घवर्तुळ आहेत, असें प्रथमतः **केप्लर** साहेबासच समजलें. पहिला नियम आणि हा नियम ह्यांच्या योगानें अमके कालीं अमका ग्रह आपल्या कक्षेच्या अमक्या स्थानीं असेल असें सांगणें अगदीं सोपें आहे. ह्या आकृतींत **ब अ प** हें दीर्घवर्तुळ एका ग्रहाचा भ्रमणमार्ग आहे. आणि त्या दीर्घ वर्तुलाच्या दोन मध्यांपैकीं (केंद्रांपैकीं) एकांत **स** हा सूर्य आहे. आतां जर त्या ग्रहाचा प्रदक्षिणा काल आणि



त्या दीर्घवर्तुलाचें आकारमान हीं माहीत आहेत (हें मान, **ब अ** व्यास आणि केंद्रच्युति हीं समजल्यानें काढितां येतें) आणि तो ग्रह **ब** स्थाना पासून निघाला असेंही माहीत आहे, तर कोणत्याही विवक्षित वर्षीं, दिवशीं, किंवा घटकेस तो ग्रह कोठें असेल, हें गणितानें अगदीं बराबर काढितां येईल; अथवा जर तो ग्रह अमके स्थानीं आला असें सांगितलें, तर **ब** स्थाना पासून त्या विवक्षित स्थाना पर्यंत येण्यास त्या ग्रहास जो काल लागला, तो गणितानें काढितां येईल; परंतु ग्रहांच्या कक्षांची आकृति आपल्या पाहण्यांतल्या अमक्या आकृतीप्रमाणें आहे,

असें समजल्या वांचून, अमका ग्रह अमके वेळीं अमकेच स्थानीं असेल असें कधींही सांगतां आलें नसतें.

१५५. **तिसरा नियम.**—पहिले दोन नियम एकट्या ग्रहांच्या गतींविषयीं आहेत; परंतु तिसऱ्या नियमानें एकाच मध्या भोंवतीं फिरणाऱ्या सर्व ग्रहांच्या गतींच्या मधील संबंध कळतो. तो हा, कीं कोणत्याही दोन ग्रहांच्या प्रदक्षिणाकालांचे वर्ग, **सूर्या** पासून जीं त्या दोहोंचीं मध्यम अंतरें त्यांच्या घनांच्या प्रमाणांत असतात; म्हणजे जर दोन ग्रहांतून एक दुसऱ्यापेक्षां दूर आहे, तर **सूर्या** पासून कमी अंतरावरचा ग्रह आपली प्रदक्षिणा दुसऱ्यापेक्षां लौकर, आणि एका नियमित प्रमाणानें करील. **मंगळ** आणि पृथ्वी ह्यांचे प्रदक्षिणाकाल अनुक्रमें ६८७ आणि ३६५$\frac{१}{४}$ दिवस आहेत, आणि त्यांचीं अंतरें १५२$\frac{१}{३}$:१०० ह्या प्रमाणांत आहे; म्हणून **केप्लरचे** ह्या नियमाप्रमाणें $(६८७)^२$: $(३६५\frac{१}{४})^२$ :: $(१५२\frac{१}{३})^३$: $(१००)^३$; आणि वर्ग, घन, वगैरे करून पाहिल्यानें हें प्रमाण बराबर समजतें. ह्या नियमानें तर वेध घेण्याचे श्रम बहुतच कमी होतात. उदाहरणार्थ असें कल्पूं, कीं **हर्शल** साहेबानें जसा **युरेनस** शोधून काढिला, तसा नवा एक ग्रह आपण शोधून काढिला, आणि मागें सांगितलेल्या रीतींतून कोणत्या तरी रितीनें **सूर्या** पासून त्या ग्रहाचें अंतर काढिलें; तर अंतरापासून ह्या नियमानें त्याची प्रदक्षिणा काढितां येईल; आणि अर्थातच **सूर्या** भोंवतां त्याची एक प्रदक्षिणा पूर्ण होई पर्यंत आपणास त्याचे वेध नित्य घ्यावे लागणार नाहींत. **युरेनस** ह्या ग्रहाचा शोध सन १७८१ त लागला, आणि तेव्हांपासून त्यानें **सूर्या** भोंवतीं एक देखील प्रदक्षिणा पूर्ण केली नाहीं; तथापि त्यास पूर्ण प्रदक्षिणा करण्यास जो काल लागणार तो बहुत वर्षांमागें काढून ठेविला आहे, आणि तो काल त्याच्या गतीचा वेग जरी न समजता, तरी काढितां आला असता. एका ग्रहाचें अंतर आणि प्रदक्षिणाकाल हीं जर आपणास बराबर माहीत आहेत, आणि दुसऱ्या एकादे ग्रहाचें ह्या दोहोंतून एक पद (म्हणजे अंतर किंवा प्रदक्षिणाकाल) माहीत आहे, तर वर सांगितलेल्या प्रमाणानें दुसरें

पद निघेल; आणि अर्थातच तें पद काढण्या करितां वेध घेण्याची गरज राहणार नाहीं.

१५६. ह्या तिसऱ्या नियमावरून असें दिसून येतें, कीं सूर्यमालेंतील सर्व ग्रह जरी एकमेकांपासून फार दूर दूर फिरतात, तरी त्यांच्या कक्षांच्या मध्यें जो सूर्य त्याशीं त्यांचा संबंध असल्यामुळें त्या सर्वांमध्यें निकट संबंध आहे.

१५७. हे तीन नियम समजल्यामुळें ग्रहांविषयीं कांहीं विवक्षित गोष्टी कळल्या असतां तितक्याच ज्ञानावरून ते ग्रह अमके वेळीं अमकेच स्थानीं असतील, असें सहज सांगतां येऊं लागलें, हा केवढा लाभ झाला, जोतिष्यांचा वेध घेण्याचा वगैरे किती श्रम कमी झाला, हें सहज लक्षात येईल.

१५८. आतां हे नियम उपमालांसही, म्हणजे ग्रहां भोंवतीं फिरणाऱ्या उपग्रहांसही लागू पडतात. चंद्रास दुसऱ्या ग्रहांच्या योगें कांहीं व्यत्यय न झाला, तर पहिल्या दोन नियमाप्रमाणेंच तो पृथ्वी भोंवतीं भ्रमण करितो; म्हणजे पृथ्वीपासून त्याच्या अंतराचा वेग जसजसा कमी होतो, तसतसा त्याचा वेग वाढतो, आणि त्याच्या कक्षेची आकृति दीर्घवर्तुल होऊन, त्या दीर्घवर्तुलाच्या केंद्रांत पृथ्वी असते. गुरूचे उपग्रह त्या भोंवतीं पहिल्या दोन नियमांच्या अनुरोधानें भ्रमण करितात; आणखी त्यांस तिसरा नियमही लागू पडतो; म्हणजे गुरू पासून कोणत्याही दोन उपग्रहांचीं जीं मध्यम अंतरें त्यांचे वर्ग त्या उपग्रहांच्या प्रदक्षिणाकालांच्या घनांच्या प्रमाणांत असतात. शनीच्या उपग्रहां विषयींही अशीच गोष्ट आहे.

१५९. ग्रह आणि उपग्रह ह्यांहून फारच भिन्न, आणि सूर्याभोंवतींच फिरणारे असे कित्येक चलतारे आहेत. त्यांस **धूमकेतु** अथवा **शेंडेनक्षत्रें** म्हणतात. ह्यांच्या मागें पांढऱ्या धुरासारखा झोत असतो. त्यावरून त्यांस **धूमकेतु** म्हणजे धुराची पताका किंवा

शेंडे नक्षत्र हीं नावें पडलीं आहेत. हे **धूमकेतु सूर्या** जवळ जसजसे जातात, तसतशी ह्यांची शेंडी फार मोठी व फार चकचकीत होते. धूमकेतूंचे घटक द्रव्य फारच विरळ असावें असा तर्क करितात. ह्यास एक प्रमाण हें, कीं त्यांच्या शेंडींतून पलीकडचीं नक्षत्रें दिसतात. त्यावरून धूमकेतूंत नक्षत्रें आहेत असा भास होतो. प्रत्येक धूमकेतूची शेंडी सूर्याच्या दुसरे बाजूस असते. आतां, असें पाहण्यांत आलें आहे, कीं **धूमकेतु** देखील सूर्याभोंवतीं दीर्घवर्तुलांत फिरतात. भेद इतकाच कीं ह्यांचीं दीर्घवर्तुलें ग्रहांच्या दीर्घवर्तुलां पेक्षां लांबीनें अधिक आणि रुंदीनें कमी असतात. ग्रह बहुतकरून राशिचक्रांत म्हणजे क्रांतिवृत्ताचे सन्निध असतात, आणि धूमकेतु सर्व आकाशभर म्हणजे आकाशाच्या सर्व भागांत सांपडतात. इतकें असूनही जर कोणत्याही एकादे **धूमकेतूस** इतर खस्थ पदार्थांकडून कांहीं प्रतिबंधन झाला, तर तो **केप्लर** साहेबाच्या नियमा प्रमाणें गमन करितो, म्हणजे त्याचें अंतर वेग आणि कक्षेची आकृति हीं **केप्लर** साहेबाच्या नियमा प्रमाणें असतात. **चिनई** लोकांचे ग्रंथांत दोन तीनशें धूमकेतूंची याद दिली आहे. आणि **यूरोपियन** लोकांच्या आलीकडील शोधांवरून सुमारें सातशें **धूमकेतु** समजले आहेत; परंतु **धूमकेतु** फार थोडे दिवस दिसतात, ह्यामुळें बहुत एकांचे प्रदक्षिणाकाळ आणि कक्षांचीं मानें आणि क्रांतिवृत्ताशीं कोन हीं बराबर समजलीं नाहींत. (१०१ पत्रावरील आकृति पहा).



१६०. ह्या उपपादनावरून **सूर्य**मालेंतील एकंदर पदार्थ म्हटलें ह्मणजे प्रथमतः मध्यस्थित **सूर्य**, नंतर मुख्यग्रह, हे पृथ्वी सुद्धां सांप्रत अठरा आहेत, आणि त्यां पैकीं पांच ग्रहांस सभोंवतीं फिरणारे उपग्रह आहेत, आणि शेवटीं असंख्य **धूमकेतु** त्यांच्या कक्षांची

केंद्रच्युति इतकी मोठी आहे, कीं ते कधीं कधीं सूर्याचे अतिसमीप असतात. ह्याखेरीज सूर्यमालेनें आक्रमिलेल्या अंतरालांत लहान मोठे कितीएक दगड भ्रमण करीत आहेत, त्यांस उल्का ह्मणतात. हे दगड कधीं कधीं पृथ्वीवर येऊन पडतात व त्यांसच तुटून पडलेले तारे म्हणतात.

ग्रहणें आणि ग्रहयुति.

१६१. ग्रह आणि उपग्रह आकाशांतून भ्रमण करीत असतां कधीं कधीं जे चमत्कार घडतात त्यांपैकीं कांहीं आतां सांगतों.

१६२. त्या चमत्कारांतून सर्वांस माहीत असे म्हटलें म्हणजे ग्रहणें आहेत. सूर्य आणि एकादा चल तारा ह्यांच्या मधून दुसरा एकादा चल तारा गेल्यानें सूर्याचें किंवा पहिल्या चल ताऱ्याचें जें अदृश्य होणें त्यास ग्रहण म्हणतात. जेव्हां सूर्य आणि चंद्र पृथ्वीच्या समोरा समोरच्या बाजूस असतात, तेव्हां कधीं कधीं पृथ्वी, सूर्य आणि चंद्र यांच्या बराबर मध्यें असते; ह्यामुळें चंद्र पृथ्वीच्या छायेंत सांपडून त्यावरचा प्रकाश नाहींसा होतो, म्हणजे त्यास ग्रहण लागतें: आणि चंद्र कलांनीं पूर्ण असतांही म्हणजे त्याचें सर्व बिंब प्रकाशित असतांही, तो एकाएकीं कांहीं अंशीं अथवा सर्वांशीं काळा दिसतो.

१६३. जेव्हां सूर्य आणि चंद्र पृथ्वीच्या एकाच बाजूस असतात, तेव्हां कधीं कधीं चंद्र पृथ्वी आणि सूर्य त्यांच्या बराबर मध्यें येऊन पृथ्वीच्या कांहीं भागावर सूर्याचा प्रकाश नाहींसा करितो. त्यावेळीं पृथ्वी चंद्राच्या छायेंत असते: म्हणून सूर्याचें ग्रहण आपले दृष्टीस पडतें. (आकृति पहा.) सूर्य पृथ्वी पेक्षां फार मोठा आहे:



म्हणून तिची छाया शंकाकार पडते; आणि चंद्र पृथ्वीपेक्षांही लहान आहे, म्हणून त्याचीही छाया शंकाकारच पडते. जेव्हां चंद्राचा कांहीं भाग पृथ्वीच्या छायेंतून जातो तेव्हां त्याचें ग्रहण अपूर्ण होतें; आणि जेव्हां तो सगळा तिच्या छायेंतून जातो, तेव्हां त्याचें ग्रहण पूर्ण म्हणजे खग्रास होतें. असेंच, जेव्हां चंद्र सूर्याच्या कांहीं भागा वरून जातो, तेव्हां सूर्याचें ग्रहण अपूर्ण होतें; आणि जेव्हां चंद्रबिंबाचा मध्य सूर्यबिंबाच्या मध्यावरून जातो, तेव्हां सूर्याचें ग्रहण खग्रास किंवा कंकणाकृति होतें.

१६४. पुढील अमके वर्षाच्या अमके दिवशीं अमके वेळीं अमके ग्रहण होईल असें गणित करून सांगतां येतें, आणि प्राचीन कालीं जीं काय चमत्कारिक ग्रहणें पडलीं होतीं म्हणून इतिहासांत सांगितलें आहे, तीं वास्तविक केव्हां पडलीं असावीं, हेंही गणितानें काढितां येतें. इतिहासांत सांगितलें आहे, कीं इसवी सनाचे पूर्वीं सुमारें सहावे शतकांत एक मोठें सूर्य ग्रहण पडून, त्या ग्रहणाचे दिवशीं मेदी* लोक आणि लिदियन† लोक ह्यांच्या मध्यें चाललेली लढाई तहकूब झाली होती; आणि गणित करून पाहिलें असतां असें येतें, कीं इसवी सनाच्या पूर्वीं ६१० वे वर्षीच्या सप्टेंबराच्या ३० वे तारिखेस सूर्याचें खग्रास ग्रहण पडलें होतें. ह्याप्रकारें, प्राचीन इतिहासाच्या कालगणनेविषयीं म्हणजे वर्ष, महिना, आणि तारीख ह्यां विषयीं जीं भिन्न भिन्न मतें आढळतात त्यांतील खरें कोणतें, ह्याचा आपणांस निश्चय करितां येतो. गणित आणि वेध ह्यांचे योगानें असें समजलें आहे, कीं पृथ्वी भोंवतीं चंद्राच्या २२३ प्रदक्षिणा झाल्या म्हणजे सूर्य चंद्राचीं सर्व ग्रहणें पहिल्या प्रमाणेंच येतात; म्हणजे आज जर एकादें ग्रहण आलें, तर असेंच ग्रहण चंद्राच्या २२३ प्रदक्षिणांनीं, म्हणजे १८ वर्षें आणि १० दिवस इतक्या कालानें पुनः येतें. ह्या कालामध्यें बहुतकरून ७० ग्रहणें येतात, आणि त्यांतून

* इराणच्या एका भागास प्राचीन काळीं मेदिया असें ह्मणत तेथील लोक.

† तुर्कस्थानाच्या एका भागास पूर्वीं लिदिया असें ह्मणत, तेथील लोक.

चंद्राचीं २९ आणि सूर्याचीं ४१ असतात, परंतु हीं ७० ही ग्रहणें पृथ्वीच्या एका स्थलावरून दिसतातच असें नाहीं, पृथ्वीच्या कोणत्या तरी स्थलावरून दिसतात. ग्रहणें कोणतेही वर्षांत सातांहून अधिक येत नाहींत, आणि दोहोंहून कमी येत नाहींत.

१६५. **गुरू**चे उपग्रह आणि **सूर्य** ह्यांच्यामध्यें **गुरु** येऊन, त्या उपग्रहांस वरचेवर ग्रहणें लागतात. ह्या कारणानें ते आकाशांतून एकाएकीं नाहींतसे होऊन थोड्या वेळानें पुनः दिसूं लागतात. नित्य रात्रीं **गुरू**च्या उपग्रहांतून एकादासना एकादास तरी ग्रहण लागतेंच; व त्या प्रत्येक उपग्रहाच्या ग्रहणाची वेळ गणितानें पूर्वींच आणून ठेवितां येते.

१६६. ग्रहणांखेरीज दुसरा चमत्कार म्हटला म्हणजे ग्रहयुति आहे. **चंद्र** एकादे ताऱ्यावरून किंवा ग्रहावरून जाऊन, त्यास अदृश्य करितो, तेव्हां त्याशीं **चंद्रा**ची युति झाली असें म्हणतात. हा चमत्कार ग्रहणांहून अगदीं वेगळा आहे; कांकीं ग्रहण होण्यास **सूर्य** आणि एकादा ग्रह किंवा उपग्रह ह्यांच्यामध्यें दुसरा कोणी तरी यावा लागतो. **चंद्र**बिंबाचा व्यास फार मोठा असल्यामुळें, **चंद्र** दर महिन्यास पुष्कळ ताऱ्यांवरून जातो, म्हणजे त्याची पुष्कळ ताऱ्यांशीं युति होते.

१६७. **बुध** आणि **शुक्र** ह्यांच्या कक्षा पृथ्वीची कक्षा आणि **सूर्य** ह्यांच्यामध्यें आहेत; ह्मणून ह्या ग्रहांस अंतर्वर्ती ग्रह म्हणतात. अंतर्वर्ती ग्रह कधीं कधीं **सूर्य**बिंबावरून जातात; ते समयीं जर आपण दुर्बिणींतून **सूर्या**कडे पाहूं लागलों, तर ते काळ्या ठिपक्यांप्रमाणें त्याच्या बिंबाच्या एका कडेपासून दुसऱ्या कडेपर्यंत जातांना दिसतात. (३१ वें कलम पहा.)

१६८. जेव्हां कोणत्याही दोन खस्थ पदार्थांचे भोग एकसारखेच असतात, तेव्हां ते संयोगी आहेत असें म्हणतात; आणि त्यांच्या भोगांच्यामध्यें 180° अंतर असतें, तेव्हां ते परस्परां समोर किंवा षड्भांतरीं आहेत असें म्हणतात. **युरोपियन** ज्योतिःशास्त्रज्ञ संयोग

दाखविण्याकरितां ठ ह्या चिन्हाची योजना करितात; षड्भांतर दाखविण्याकरितां – ह्या चिन्हाची योजना करितात.

कालमापन.

१६९. खस्थ पदार्थांच्या गति कालमापनास मुख्य साधन आहेत व त्यांवरूनच कालाचे विभाग केले आहेत. सूर्याच्या नित्य भ्रमणानें वर्ष होतें.

१७०. सतत सारखें राहणारें असें काल मोजण्याचें साधन म्हटलें म्हणजे नाक्षत्र दिवस मात्र होय. नाक्षत्र दिवस सर्व ऋतूंत आणि सर्वकाळीं सारखाच असतो. सौर दिवस नाक्षत्र दिवसापेक्षां मोठा असतो एवढेंच नाहीं, तर त्याचें मान वर्षाच्या भिन्न भिन्न कालीं भिन्न भिन्न असतें. जेव्हां पृथ्वी आपल्या कक्षेच्या सूर्यातिसंनिध प्रदेशीं (म्हणजे नीचांत) असते, तेव्हां केप्लरचे पहिले नियमाप्रमाणें सूर्याची भासमान गति मध्यम गतीपेक्षां शीघ्र असते, आणि ह्या प्रकारें ताऱ्यांमधून त्याची विलोम गति अधिक होऊन सौर दिवस नाक्षत्र दिवसाहून चार मिन्युटांनीं अधिक होतो; आणि जेव्हां पृथ्वी सूर्यापासून अति दूर (म्हणजे उच्चांत) असते, तेव्हां सौर दिवस नाक्षत्र दिवसाहून कमी म्हणजे चोवीस अवरांहून कमी असतो. म्हणून घड्याळांतील दिवस खऱ्या सौर दिवसा इतका नसतो, तर मध्यम सौर दिवसा इतका असतो.

१७१. ऋतु सूर्याच्या भासमान गती प्रमाणें बदलतात, म्हणून आपणास शुद्ध सौरवर्षच धरिलें पाहिजे, शुद्ध सौरवर्ष म्हणजे सूर्य मुख्य संपातीं आल्यापासून पुनः त्याच संपातीं येईपर्यंत जो काल जातो, तो; परंतु मुख्य संपातबिंदु दरवर्षास मागें सरतो; म्हणून शुद्ध सौरवर्ष, सौरवर्षा पेक्षां (म्हणजे सूर्यास ताऱ्यां मधून एक पूर्ण प्रदक्षिणा करण्यास जो काल लागतो त्यापेक्षां) सुमारें वीस मिन्युटांनीं कमी आहे. आणखी, शुद्ध सौरवर्ष सदा सारखें नसतें; सांप्रत ह्या वर्षाचें जें मान आहे, तें दोन हजार वर्षां पूर्वी ह्या वर्षाचें जें मान होतें, त्यापेक्षां सुमारें चार सेकंदांनीं कमी आहे. सांप्रत ह्या वर्षाचें बराबर मान ३६५ दिवस ५ अवर ४८ मिन्युटें आणि ४९.७ सेकंद इतकें आहे.

१७२· दिवसाचे प्रारंभा पासून, मध्यान्हापासून किंवा मध्यरात्री पासून वर्षाचा प्रारंभ करणें सोयीचें असल्यामुळें इष्ट आहे, परंतु अशा करण्यानें दर वर्षास सुमारें ५·८ तासांचा भेद पडतो· कांहीं युक्तीनें हा भेद नाहींसा करणें हा कालमापनाचा मुख्य उद्देश आहे· हा भेद नाहींसा करण्या करितां प्रथमत *जूलियस सीजरानें अशी युक्ति काढिली, कीं सामान्यतः वर्षाचे दिवस ३६५ धरावे, परंतु दर चवथ्या वर्षाचे दिवस ३६६ धरावे. त्यानें ही आपली युक्ति इसवी सनाचे पूर्वीं ४५ वे वर्षीं जानेवारीचे पहिले तारखेस चालू केली; परंतु ही युक्ति चालू करण्या पूर्वीं कालगणनेंत फार घोटाळा होऊन गेला होता; म्हणून तो नाहींसा होण्याकरितां, मागील वर्ष (म्हणजे इसवी सनाचे पूर्वीं ४६ वें वर्ष) ४४५ दिवसांचें असा त्यास कायदा करावा लागला, परंतु शुद्ध सौरवर्षाचें मान ३६५ दिवस आणि ६ अवर ह्याहून कमी आहे; म्हणून दर चवथे वर्षीं (म्हणजे †लीप वर्षीं, एक दिवस जास्ती धरण्यानें सुमारें ४५ मिन्युटें जास्ती धरलीं जातात; म्हणून जूलियस सीजराच्या युक्तीनें १६०० वर्षांत १० दिवसांचा भेद पडला; ह्मणजे १० दिवस जास्ती धरले गेले. असा भेद पडत जाऊं नये ह्याकरितां, १३ वा ग्रेगरी ह्या नांवाचे पोपानें (ख्रिस्ती धर्माध्यक्षानें) नवीनच एक युक्ति काढिली; ती ‡ही कीं, ज्या वर्षाची संख्या ४ नीं निःशेष भागिली जात नाहीं, त्या वर्षाचे दिवस ३६५ धरावे, जें वर्ष ४ नीं निःशेष भागिलें जातें; परंतु १०० नीं निःशेष भागिलें जात नाहीं, त्या वर्षाचे दिवस ३६६ धरावे; जें वर्ष १०० नीं निःशेष भागिलें जातें; परंतु ४०० नीं निःशेष भागलें जात नाहीं, त्या वर्षाचे दिवस ३६५ च धरावे, आणि जें वर्ष ४०० नीं निःशेष

* रोमन लोकांतला प्रथम पादशाह.

† जें वर्ष ४ नीं निःशेष भागलें जातें त्यास लीप वर्ष ह्मणतात.

‡ लीप वर्षाचे दिवस ३६६ धरावे, परंतु दर २५ वें लीप वर्षीं ह्मणजे जें वर्ष १०० नीं निःशेष भागिलें जातें, त्या वर्षाचे दिवस ३६५ च धरावे इतकी युक्ति मात्र त्या पोपाची होती. अर्वाचीन विद्वानांनीं त्याच्या युक्तींत बहुत सुधारणा केली आहे, ती सर्व एथें सांगितली.

भागलें जातें, त्या वर्षाचे दिवस ३६६ धरावे; उदाहरण; सन १८३३ वें वर्ष ४ नीं निःशेष भागलें जात नाहीं, म्हणून तें ३६५ दिवसांचें आहे; १८३६ वें वर्ष ३६६ दिवसांचें आहे; १८०० वें आणि १९०० वें वर्ष प्रत्येक ३६५ दिवसांचें आहे; परंतु २००० वें वर्ष ३६६ दिवसांचें आहे. आणि **जूलियस सीजरा** पासून सन १५८२ पर्यंत १० दिवस जास्ती धरले गेले होते; म्हणून सन १५८२ चे **आक्टोबर** महिन्याची ४ थी तारीख झाल्यावर दुसरेच दिवशीं १५ वी तारीख मानली. कालमापनाची ही नवीन पद्धत **इंग्लंदांत** सन १७५२ पासून चालू झाली. तेथें १७५२ पर्यंत दर वर्षाचा प्रारंभ **मार्च** महिन्याचे २५ वे तारखेस करीत, परंतु इतर देशचे लोकांप्रमाणें आपले वर्षाचा प्रारंभ करण्याकरितां १७५१ वें वर्ष **दिसेंबर** महिन्या पूर्वीच **जूलियस सीजरा**पासून १७५१ पर्यंत जितके दिवस जास्ती धरले गेले होते, तितके दिवस गाळून १७५२ वें वर्ष **जानुवारी**चे पहिले तारखेस आरंभिलें.

दक्षिण हिंदुस्थानांतील हल्लीं लोक **शालिवाहना**च्या शकानें चालतात. त्या शकांत चैत्रादि बारा चांद्रमास असतात. प्रत्येक चांद्रमासांत ३० तिथि असतात; परंतु ३० तिथींत २९.५३ सौर दिवस होतात; म्हणून १२ चांद्रमासांत ३५४.४ सौर दिवस होतात; परंतु **सूर्यसिद्धांता**प्रमाणें सौर वर्षाचें मान ३६५ दिवस, १५ घटिका, आणि ३१.५ पळें आहे; म्हणजे इतक्या कालीनें ऋतूंचा एक फेरा होतो; परंतु ह्या शकाचें मान सौरवर्षाच्या मानापेक्षां कमी आहे; ह्यामुळें चैत्रादि मासांत क्रमाक्रमानें सर्व ऋतु येतील; असें होऊं नये, म्हणून सक्रांतीच्या अनुरोधानें प्रत्येक मासास नांव देतात; म्हणजे ज्या मासांत **मेष** संक्रांत पडते, त्यास चैत्र म्हणतात, ज्यांत **वृषभ** संक्रांत पडते त्यास वैशाख म्हणतात; ह्या प्रमाणेंच प्रति मासाविषयीं आहे; आणि ज्या मासांत संक्रांत मुळींच पडत नाहीं, त्यास अधिक मास म्हणतात; म्हणून प्रति शकांत १३ चांद्रमास असतात. (ह्याविषयीं आणखी माहिती करून घेणें असल्यास **ग्रहलाघव** किंवा **ग्रहसाधन कोष्टक** हें पुस्तक पहावें).

भाग चवथा.

ज्योतिषशास्त्रास लागू असे शिल्पशास्त्राचे नियम ह्यांविषयीं.

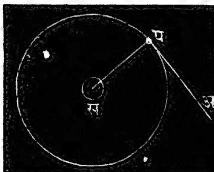
१७३. **केप्लर** साहेबानें खस्थ पदार्थांच्या कक्षा आणि प्रदक्षिणाकाल ह्याविषयींचे नियम शोधून काढिल्यावर थोडकेच दिवसांनीं, त्यांच्या गतींचीं कारणें; म्हणजे ज्या प्रेरणांचे योगानें ते केप्लरचे नियम सांगितलेला संबंध राखितात, त्या प्रेरणा **सर ऐजक न्यूतन** साहेबाचे प्रथम लक्ष्यांत आल्या. अंतरालांत एकादा दगड किंवा बंदुकेचा गोळा फेकला असतां, तो जसा आपले मध्याभोंवतीं फिरत फिरत अंतरालांतून गमन करितो, तसेच सर्व मोठमोठाले ग्रह आपपले मध्याभोंवतीं फिरत फिरत अंतरालांतून फिरतात. ही कल्पना पहिल्यानें **न्यूतन** साहेबाचे मनांत आली. त्यानें असें सिद्ध करून दाखविलें, कीं बंदुकीचा गोळा कांहीं जोरानें सुटला असतां, तो शिल्पशास्त्राच्या ज्या नियमांनीं अमके वेगानें आणि अमके आकृतीचे मार्गानें जाईल, आणि अमके वेळांत अमके स्थलीं जाईल असें काढितां येतें, तेच नियम ग्रहांस लागू आहेत. जर एकादे ग्रहाचा वेग, त्याच्या गमनाची दिशा, आणि सूर्यापासून त्याचें अंतर हीं आपणास एकवेळ समजलीं, तर तो पुढें अमुक वेळीं कोठें असेल, हें शिल्पशास्त्राच्या नियमांनीं काढितां येतें. शिल्पशास्त्राप्रमाणें म्हटलें तर सूर्याभोंवतीं फिरणारा कोणताही ग्रह दोरीच्या शेवटास बांधिलेल्या दगडाप्रमाणें, किंवा चाकाच्या कडेवर ठेविलेल्या गोळ्याप्रमाणें आहे; म्हणजे प्रत्येक ग्रह दोन प्रेरणांच्या योगें सूर्याभोंवतीं फिरत राहिला आहे; एक मध्याभिसारप्रेरणा आणि दुसरी मध्योत्सारप्रेरणा पहिलीच्या योगें तो सूर्याकडे ओढला जातो, आणि दुसरीच्या योगें तो सरल रेषेनें जातो.

१७४. ह्यावरून हें उघड आहे, कीं पृथ्वीवरील पदार्थांच्या गतींस

शिल्पशास्त्राचे जे नियम लागतात, तेच नियम खस्थ पदार्थांच्याही गतींस लागतात. ज्योतिःशास्त्रांत उपयोगीं पडणारे शिल्पशास्त्राचे नियम म्हटलें म्हणजे, ते नियम गतिविषयक मूलभूत तीन नियमच, प्रेरणांच्या एकीकरणाचे नियम, आणि सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षणाचा नियम हे होत.

१७५. निराधार पदार्थ पृथ्वीवर येऊन पडतात, ही गोष्ट हमेशा आपणा सर्वांचे दृष्टीस पडते; परंतु हीच गोष्ट **चंद्र**, **सूर्य**, आणि इतर ग्रह ह्यांसही लागू आहे. ही कल्पना प्रथम **न्यूतनाचे** मनांत आली. ह्या गोष्टीस आजून दोनशें वर्षें देखील झाली नाहींत. त्यानें असें सिद्ध केलें कीं **चंद्र** पृथ्वीकडे सतत पडत आहे, आणि **चंद्रास** जी दुसरी एक गति आहे, ती नसती, तर तो पृथ्वीवर येऊन पडता. **चंद्र** आपल्या दुसऱ्या गतीमुळें सतत दूर जात असतो, त्यास हीच केवळ गति असती, तर तो सरल रेषेनें फारच दूर जाता. ह्या प्रकारें **चंद्राची** कक्षा दोन प्रेरणांनीं झाली आहे. पहिल्या प्रेरणेनें तो पृथ्वीकडे येत असतो, आणि दुसऱ्या प्रेरणेनें, तो गोफणगुंड्याची दोरी तुटली असतां त्यांतील धोंडा जसा स्पर्शरेषेनें जातो, तसा जात असतो.

१७६. गतिविषयक मूलभूत नियम आणि **केप्लरचे** नियम ह्यांचे योगानें **न्यूतनानें** असा सिद्धांत काढिला, कीं गुरुत्वाकर्षण सर्वत्र चालू आहे. ग्रहांच्या कक्षा मध्योत्सारी आणि मध्याभिसारी अशा दोन प्रेरणांनीं झाल्या आहेत, असें समजल्यावर, अशी शंका उत्पन्न झाली, कीं **चंद्र** सरल रेषेनें कां दूर जात नाहीं; पृथ्वीकडेच कां येत असतो? सर्व ग्रहांच्या आंगीं सरल रेषेनें गमन करण्याचा मोठा वेग असतांही, ते **सूर्याकडे** सतत कां येत असतात. ह्या आकृतींत **प** हा एक ग्रह आणि **स** हा सूर्य आहे; तर **पस प अ** रेषेनें जाण्याची गति असतांही, तो **स** भोंवतींच कशानें फिरतो?



१७७. केप्लरचे पहिल्या नियमावरून न्यूटन साहेबानें असें सिद्ध केलें, कीं ग्रह ज्या दिशांनीं आपले सरल मार्ग सोडून देऊन वर्तुल कक्षेंत येतात, त्या सर्व दिशांचा रोंख सूर्याकडे असतो; म्हणून ग्रहांस सरल मार्गांतून वर्तुल मार्गांत आणण्याची शक्ति सूर्याच्या आंगीं आहे. केप्लरचे दुसरे आणि तिसरे नियमांवरून त्यानें असें सिद्ध केलें, कीं ग्रहाचें सूर्याकडे येणें त्यांच्या अंतराच्या वर्गाच्या उलट प्रमाणांत असतें; आणि शेवटीं त्यानें असें सिद्ध करून दाखविलें, कीं चंद्र पृथ्वीपासून जितके अंतरावर आहे, तितक्या अंतरावरून एकादा दगड पृथ्वीकडे येऊं लागला, तर तो प्रथमतः जितका खालीं येईल तितकाच चंद्र आपला सरल मार्ग सोडून खालीं येतो, पृथ्वीच्या मध्यापासून चंद्रापर्यंत अंतर पृथ्वीच्या त्रिज्येच्या ६० पट आहे; म्हणून तेथील गुरुत्वाकर्षण भूपृष्ठावरील गुरुत्वाकर्षणाचे ३६०० पट कमी आहे; ह्मणजे थोड्या अंतरावरून एकादा दगड पृथ्वीकडे येत असतां त्याचे अंगीं एका सेकंदांत जितका वेग येतो तितकाच वेग, तो दगड चंद्रा इतक्या अंतरावरून पृथ्वीकडे येत असतां, एका अवरांत येईल. गणित करून पाहिलें असतां असें येतें, कीं भूपृष्ठापासून दहापांच मैलांवरून एकादा दगड पडत असतां तो एका सेकंदांत जितका खालीं येतो, तितके खालीं येण्यास चंद्रास एक अवर लागतो. ह्या प्रकारें चंद्र गुरुत्वाकर्षणामुळें पृथ्वीकडे येतो, असें समजल्यावर न्यूटनानें असें अनुमान केलें, कीं ग्रह त्याच कारणानें सूर्याकडे येतात, ह्मणजे गुरुत्वाकर्षणामुळें सर्व चल तारे आपआपल्या कक्षांत फिरतात.

१७८. न्यूटनानें असेंही सिद्ध करून दाखविलें कीं चंद्रच पृथ्वीकडे येतो असें नाहीं; परंतु पृथ्वी आणि चंद्र एकमेकाकडे येतात. जर पृथ्वी आणि चंद्र आकारमानानें सम असतीं तर चंद्र पृथ्वीकडे जितका येतो, तितकीच पृथ्वीही चंद्राकडे जाती; परंतु पृथ्वी चंद्रापेक्षां फारच मोठी आहे; ह्मणून ती चंद्राकडे जितकी जाते त्यापेक्षां चंद्र तीकडे फारच अधिक येतो. ह्या कारणानें चंद्राच्या कक्षेचा मध्य

पृथ्वीच्या मध्यांत नाहीं; तर पृथ्वी आणि चंद्र ह्यांच्या गुरुत्वमध्यांत (ह्मणजे त्यांच्यामध्यें एक लोखंडी कांब घातली असतां तिच्या ज्या बिंदूंत त्यांची समता होईल त्या बिंदूंत) आहे. ह्या प्रमाणेंच, सर्व ग्रह सूर्यास ओढतात; ह्मणून तोही स्थिर नसतो; तर इकडे तिकडे चळतो; परंतु आकारमानानें तो सर्व ग्रहांपेक्षां अतिशयित मोठा आहे; ह्मणून तो इकडे तिकडे फारसा होत नाहीं. ह्या कारणानें सूर्यमालेचा गुरुत्वमध्य सूर्याच्या मध्यांत नाहीं, तर त्याच्या पृष्ठभागाजवळ आहे.

१७९. नंतर न्यूटन गुरुत्वाकर्षण आणि सरल रेषेनें जाण्याचा वेग ह्या दोन प्रेरणांपासून उलट केप्लरचे नियम काढूं लागला. तेव्हां त्याला असें समजलें, कीं केप्लरचे नियम सर्वांशीं खरे नाहींत. सूर्याचा मध्य ग्रहांच्या दीर्घवर्तुल कक्षांच्या एका केंद्रांत नसतो, एवढेंच नाहीं; परंतु एकाही ग्रहाची कक्षा बराबर दीर्घवर्तुलाकार नाहीं. जर एकच ग्रह सूर्याभोंवतीं फिरणारा असता, तर तो बराबर दीर्घवर्तुलानें फिरता,* आणि सूर्य आणि ग्रह ह्यांच्या गुरुत्वमध्यांत त्या ग्रहाच्या कक्षेचा मध्य घेतल्यानें केप्लरचे नियम बराबर लागू होते; परंतु दुसरा एक ग्रह सूर्याभोंवतीं फिरणारा घेतला, तर ह्या ग्रहास सूर्यच ओढील, आणि हा सूर्यास ओढील असें नाहीं, तर हा आणि पहिला ग्रह हे एकमेकास ओढून एकमेकाच्या गमनांत फेरफार करतील; ह्यामुळें एकाचीही कक्षा बराबर दीर्घवर्तुलरूप होणार नाहीं, आणि सूर्याभोंवतीं फिरणारे ग्रह जितके जितके अधिक, तितकी तितकी त्या ग्रहांच्या कक्षांत दीर्घवर्तुलता कमी.

१८०. ह्या प्रमाणेंच, जर ह्या विश्वांत चंद्र आणि पृथ्वी ह्यां खेरीज दुसरा कोणताही पदार्थ नसता, तर चंद्र त्या दोहोंच्या गुरुत्वमध्याभोंवतीं बराबर दीर्घवर्तुळांत फिरता; परंतु पृथ्वी आणि चंद्र

---

* ही गोष्ट यंग साहेबाच्या शिल्पशास्त्राच्या १४६ वे कलमांत आणि एतद्विषयक बहुत ग्रंथांत सिद्ध करून दाखविली आहे; परंतु त्या ग्रंथांचें भाषांतर अद्यापि झालें नाहीं.

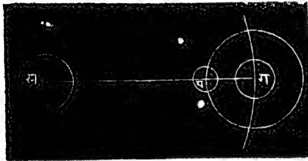
सूर्या भोंवतीं फिरतात, आणि त्यां दोहोंसही सूर्य ओढतो; म्हणून चंद्राच्या दीर्घवर्तुल कक्षेंत पराकाष्टेचा फेरफार होतो; ह्यामुळें केप्लरच्या पहिल्या दोन नियमांवरून चंद्र अमूक वेळीं अमूकच स्थलीं असेल, असें सांगतां येत नाहीं. गुरूच्या उपग्रहां विषयीं तर फारच निराळी गोष्ट आहे, त्या सर्वांवर सूर्याचें आकर्षण असल्यामुळें त्यांच्या कक्षांत फेरफार होतोच; परंतु एकमेकांवर त्यांचें आकर्षण असल्यामुळें त्यांच्या कक्षांत आणखी फेरफार होतो.

१८१. वर सांगितलेल्या न्यूतनच्या कल्पनांनीं केप्लरच्या नियमाचें न्यूनत्व सिद्ध होतें; परंतु त्याच कल्पनांनीं, तें न्यूनत्व नाहींसें करण्यास कोणते संस्कार करावे, म्हणजे इतर सर्व ग्रहांच्या आकर्षणा-मुळें प्रत्येक ग्रहाच्या दीर्घवर्तुलरूप कक्षेंत होणारा फेरफार कसा काढावा हेंही समजतें. प्रत्येक ग्रहाच्या आकर्षणामुळें प्रत्येक दुसऱ्या ग्रहाच्या दीर्घवर्तुलरूप कक्षेंत थोडा बहुत तरी फेरफार होतोच, आणि तो फेरफार काढण्याचा प्रकार ग्रहांच्या स्थितीप्रमाणें बदलतो; ह्मणून तो फेरफार काढितांना बहुत खटपट पडते. आतां तो फेरफार काढण्याचे सर्व प्रकार सांगणें हा ह्या भागाचा विषय आहे; परंतु हें पुस्तक नवीन अभ्यास करणाऱ्यांकरितां रचलें आहे; ह्मणून ग्रहांचें आकर्षण एकमेकावर कसें घडतें, आणि त्यामुळें सामान्यतः कोणते परिणाम घडतात, ह्याविषयीं मात्र ह्या भागांत सांगितलें आहे.

खस्थ पदार्थांचे प्रकृत्यंश.

१८२. मागील भागांत ग्रहांचीं आकारमानें काढण्याचा प्रकार सांगितला; परंतु त्यांचा प्रकृत्यंश ह्मणजे त्या प्रत्येकाच्या आंगीं जड द्रव्य किती आहे, तें समजण्यास आकारमान आणि घनत्व हीं दोन समजावीं लागतात, ह्मणून ग्रहांच्या प्रकृत्यंशांची इयत्ता काढण्याचा प्रकार सांगतां आला नाहीं; परंतु ह्या भागांत सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षणाचा नियम समजला; त्या नियमावरून ग्रहांच्या प्रकृत्यंशांची इयत्ता काढितां येते. प्रत्येक ग्रहाची आकर्षणशक्ति (म्हणजे दुसऱ्या ग्रहांस

आपणाकडे ओढून घेण्याची शक्ति) त्याच्या प्रकृत्यंशांप्रमाणें असते; ह्मणून जर एका ग्रहाची आकर्षणशक्ति दुसऱ्या ग्रहाच्या आकर्षणशक्तीपेक्षां अमुक पट अधिक किंवा उणी आहे, हें समजलें; तर पहिल्याचे प्रकृत्यंश दुसऱ्याच्या प्रकृत्यंशांपेक्षां किती पट अधिक किंवा उणे आहेत, हेंही समजेल. **चंद्र** आणि पृथ्वी ह्यांच्या गुरुत्वमध्याभोंवतीं **चंद्र** फिरतो; आतां जर त्या गुरुत्वमध्यापासून पृथ्वीचें आणि **चंद्राचें** दुरत्व समजलें; तर त्यावरून प्रकृत्यंशमानानें पृथ्वी **चंद्राच्या** किती पट आहे, हें समजतें. ज्या ग्रहास उपग्रह असतो, तो ग्रह आणि सूर्य ह्यांच्या प्रकृत्यंशांचें प्रमाण पुढील कृतीनें काढितां येतें. ह्या आकृतींत **स** हा सूर्य, **ग** हा ग्रह, आणि **प** हा उपग्रह आहे, **ग** पासून **प** पर्यंत अंतर **ल** आणि **ग** पासून **स** पर्यंत अंतर **र** आहे; आतां, आकर्षण अंतराच्या वर्गाप्रमाणें कमी होतें, आणि प्रकृत्यंशांप्रमाणें वाढतें ह्मणून



$$\text{ग्रहावर सूर्याचें आकर्षण} = \frac{\text{सचे प्रकृत्यंश}}{र^2} = अ$$

$$\text{आणि उपग्रहावर ग्रहाचें आकर्षण} = \frac{\text{गचे प्रकृत्यंश}}{ल^2} = अ'$$

(कल्पना)

$$\text{ह्मणून } \frac{अ}{अ'} = \frac{\text{स.प्र.}}{\text{ग.प्र.}} \times \frac{ल^2}{र^2} \text{ आणि } \frac{\text{स.प्र.}}{\text{ग.प्र.}} = \frac{अ}{अ'} \times \frac{र^2}{ल^2}$$

ह्मणजे **सूर्याचे** प्रकृत्यंश : ग्रहाचे प्रकृत्यंश :: ग्रहावर **सूर्याचें** आकर्षण × **सूर्या** पासून ग्रहाच्या अंतराचा वर्ग : उपग्रहावर ग्रहाचें आकर्षण × ग्रहापासून उपग्रहाच्या अंतराचा वर्ग. आतां, **सूर्य** एका अवरांत पृथ्वीस आपणाकडे किती ओढतो, आणि पृथ्वी एका अवरांत **चंद्रास** आपणाकडे किती ओढते, हें माहीत आहे, आणि **सूर्यापासून** पृथ्वीचें अंतर आणि पृथ्वीपासून **चंद्राचें** अंतर हींही माहीत आहेत.

ह्मणून वरील कृतीनें असें येतें, कीं प्रकृत्यंश मानानें सूर्य पृथ्वीच्या ३,५५,००० पट आहे; परंतु सूर्याचें महत्व पृथ्वीच्या महत्वाच्या १३,२१,००० पट आहे; ह्मणून हें उघड आहे, कीं ज्या द्रव्याचा सूर्य केला आहे, तें द्रव्य, ज्या द्रव्याची पृथ्वी केली आहे, त्या द्रव्यापेक्षां फारच हलकें आहे; वर सांगितलेल्या रितीनेंच असें समजतें, कीं प्रकृत्यंशमानानें **गुरु** पृथ्वीच्या ३४० पट आहे, **शनि** पृथ्वीच्या १०० पट आहे; आणि **युरेनस** २० पट आहे. पृथ्वी **चंद्राच्या** ८० पट आहे.

१८३. आतां ज्या ग्रहास उपग्रह नसतात, त्या ग्रहांच्या प्रकृत्यंशांचीं मानें काढण्याचा प्रकार सांगतों. **बुध** आणि **शुक्र** हे एकमेकांस ओढतात; ह्मणून त्यांच्या दीर्घवर्तुलकक्षांत फेरफार होतो; आणि एकाच्या आकर्षणामुळें दुसऱ्याच्या नियमित दीर्घवर्तुल कक्षेंत एकंदर जितका फेरफार होतो, तितकी त्याची आकर्षणशक्ति असते. जसें पृथ्वीवरील पदार्थांच्या प्रकृत्यंशांचें प्रमाण त्या पदार्थांच्या वजनांवरून (ह्मणजे त्यांवरील पृथ्वीच्या आकर्षणांवरून) समजतें; जसें खस्थ पदार्थांच्या प्रकृत्यंशांचें प्रमाण त्यांचीं आकर्षणशक्ति आणि अंतर ह्यावरून समजतें. ह्या प्रकारें असें समजलें आहे, कीं प्रकृत्यंशमानानें **शुक्र** पृथ्वीच्या ९/१० शांबराबर आहे, आणि **बुध** पृथ्वीच्या १/६ शाबराबर आहे; परंतु त्याचा व्यास पृथ्वीच्या व्यासाच्या २/५ शाबराबर आहे; म्हणून हें उघड आहे, कीं तो सर्व ग्रहांमध्यें अतिशय घन आहे.

१८४. लहान लहान जे नऊ ग्रह त्यांच्या प्रकृत्यंशांचीं मानें आजून बराबर समजलीं नाहींत. **धूमकेतूंच्या** प्रकृत्यंशांचीं मानें तर मुळींच समजत नाहींत. ते ग्रहांच्या अगदीं जवळ असतांना देखील त्यांच्या आकर्षणानें ग्रहांच्या गमनांत कांहींच भेद पडत नाहीं; ह्यावरून असें अनुमान होतें, कीं ते अतिशयित हलक्या द्रव्याचे केलेले असावे.

१८५. ग्रहांचें वास्तविक घनत्व किंवा विशिष्टगुरुत्व समजण्यास

सर्व पृथ्वीचें घनत्व समजलें पाहिजे. कोणत्याही एका डोंगराची आकर्षणशक्ति पृथ्वीच्या आकर्षणशक्तीशीं लावून पाहिल्यानें पृथ्वीचें घनत्व काढितां येतें; कां कीं पदार्थांची आकर्षणशक्ति त्याच्या प्रकृत्यंशा प्रमाणें असते. जर आपण एकाद्या डोंगराच्या संनिध जाऊन एक ओळंबा धरिला; तर त्यावर पृथ्वीचें आकर्षण असून त्या डोंगराचेंही आकर्षण असतें; म्हणून तो लंब राहत नाहीं; तर त्या डोंगराकडे कांहींसा कलता राहतो; आणि तो ज्या रेषेंत वास्तविक राहतो, ती रेषा आणि लंबरेषा ह्यां मधील कोन तो डोंगर आणि पृथ्वी ह्यांच्या आकर्षणशक्तीं प्रमाणें असतो; म्हणून त्या कोनावरून प्रकृत्यंशमानानें पृथ्वी त्या डोंगराच्या कितीपट आहे हें समजतें. आतां जर आपण तो सर्व डोंगर मोजला, आणि त्यांत असणाऱ्या पदार्थांचीं मानें काढिलीं; तर त्या सर्व डोंगराचे एकंदर प्रकृत्यंश समजतील; आणि त्यांवरून पृथ्वीचे एकंदर प्रकृत्यंशांची अटकळ होईल. **डाक्तर मास्केलैन** साहेबानें ***पर्थशियरां**तील एका डोंगराजवळ वर सांगितल्या प्रमाणें करून पाहिलें; तेव्हां त्याला असें समजलें कीं साधारण मानानें पृथ्वी पाण्यापेक्षां ५½ पट जड आहे, म्हणजे पृथ्वीचें विशिष्टगुरुत्व ५½ आहे. दुसऱ्या एका प्रकारानें पृथ्वीचें विशिष्टगुरुत्व ५½ च आलें. ह्यापासून सूर्य, चंद्र, ग्रह, आणि उपग्रह ह्यांचें घनत्व काढितां येईल.

शिल्पशास्त्राच्या नियमानें खस्थ पदार्थांचे आकारांची उपपत्ति.

१८६. ह्या भागांतही मागल्या भागाप्रमाणेंच पहिल्यानें खस्थ पदार्थांच्या आकारांविषयीं सांगून, मग त्यांच्या कक्षांविषयीं सांगितलें आहे.

१८७. मागील भागांत असें सांगितलें आहे, कीं सूर्य आणि ग्रह ह्यांच्या आंगीं थोडासा चपटेपणा आहे, आणि तो चपटेपणा

---

* स्कातलंदांतला एक प्रांत आहे.

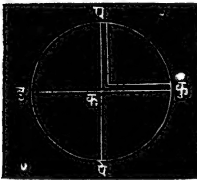
त्यांच्या स्वतां भोंवतींच्या फिरण्याच्या वेगाप्रमाणें कमीज्यास्त आहे. आतां सूर्य व ग्रह कांहीं कालापूर्वी मऊ आणि पातळ पदार्थ होते असें जर मानलें, तर ग्रहांच्या आंगीं गोलपणा आणि चपटेपणा ह्यांची उत्पत्ति शिल्पशास्त्राचे सामान्य नियमां वरून सहज होते. जर एकाद्या पातळ पदार्थाच्या परमाणुसमुदायावर बाह्य पदार्थाचें आकर्षण किंवा दाब नसला; तर त्या परमाणुसमुदायास वाटोळेपणा येतो. पावसाचे थेंब आणि बहुतकरून सर्व पातळ पदार्थांचे थेंब सुमाराचे वाटोळे असतात, आणि ज्या स्थलीं बाह्य पदार्थाचें आकर्षण त्यांवर चालत नाहीं, त्या स्थलीं ते असल्यास अगदीं वाटोळे असतात. ह्याच नियमा प्रमाणें मृदु व पातळ जो प्रत्येक ग्रह किंवा उपग्रह, तो आपले आंगचे गुरुत्वानें गोलाकृति झाला असावा.

१८८. आतां ग्रहांच्या आंगीं चपटेपणा येण्याचें कारण सांगतों. कोणताही वाटोळा पदार्थ आपले आंसा भोंवतीं फिरत असल्यानें, त्याच्या आंगीं चपटेपणा येतो. एकादा पदार्थ आपले आंसा भोंवतीं फिरूं लागला म्हणजे त्याच्या पृष्ठभागावरील प्रकृत्यंशांमध्यें, गुरुत्व-मध्याकडील आकर्षणास न जुमानतां, स्पर्श रेषेनें जाण्याची गति उत्पन्न होते. आंसा भोंवतीं फिरणारा पदार्थ मृदु किंवा पातळ आहे; तर त्याची आकृति गोल राहत नाहीं; कांकीं *मध्यरेषेकडील प्रकृत्यंशां मध्यें स्पर्श रेषेनें जाण्याची गति उत्पन्न झाल्यानें, ते ध्रुवां कडील प्रकृत्यंशां पेक्षां हलके होतात; म्हणजे त्यांचें वजन ध्रुवांकडील प्रकृत्यंशांचे वजना पेक्षां कमी होतें. मग दोहों कडील प्रकृत्यंशांचे वजनांची बराबरी होण्याकरितां मध्यरेषेकडील प्रकृत्यंश ध्रुवांकडील प्रकृत्यंशांहून अधिक असले पाहिजेत; ह्मणजे मध्यरेषेचा व्यास दोहों ध्रुवांतून जाणाऱ्या वृत्ताच्या व्यासाहून अधिक असला पाहिजे. पदार्थाचा स्वतां भोंवतीं फिरण्याचा वेग जसजसा अधिक असतो, तसतसें त्या

* पदार्थाच्या आंसाच्या टोकांस ध्रुव ह्मणतात, कांकीं तीं स्थिर असतात, आणि ध्रुवां पासून सारखे अंतरावरील पदार्था भोंवतींच्या रेषेस मध्यरेषा ह्मणतात.

पदार्थाच्या मध्यरेषेकडील प्रदेशाचें वजन ध्रुवांकडील प्रदेशाच्या वजनाहून कमी होतें; म्हणून दोहों प्रदेशांच्या वजनांची बराबरी होण्याकरितां मध्यरेषेकडील प्रदेश अधिक फुगीर झाला पाहिजे, आणि ध्रुवांकडील प्रदेश अधिक चपटा झाला पाहिजे. स्वतां भोंवतीं फिरणारे सर्व स्वस्थ पदार्थ मध्यरेषेकडे फुगीर आणि ध्रुवांकडे चपटे आहेत; ह्यावरून असें दिसतें, कीं बाह्य पदार्थांचें आकर्षण चालू नसतां मृदु पदार्थ स्नेहाकर्षणानें जसा गोलाकृति होतो, तसा तो पदार्थ स्वतां भोंवतीं फिरूं लागला म्हणजे दीर्घगोल किंवा चपटागोल होतो.

१८९. ह्या आकृतींत प कु पे इ हा एका ग्रहाचा गोल आहे, आणि तो गोल प पे आंसा भोंवतीं फिरतो; तर इ आणि कु एथील प्रकृत्यंशांमध्यें स्पर्श रेषेनें जाण्याची गति आल्यानें, त्यांचा क गुरुत्वमध्यावरील दाब प आणि पे ह्या दोन ध्रुवांकडील प्रकृत्यंशांच्या क गुरुत्वमध्यावरील दाबापेक्षां कमी होतो. आतां जर असें मानलें,



कीं क कु आणि प क ह्या दोन नळ्या वजनानें सारख्या आहेत. आणि एकमेकींशीं अशा जोडल्या आहेत, कीं एकीचें वजन कमी झालें असतां, तींत दुसऱ्या नळींतील कांहीं प्रकृत्यंश येऊन दोन्ही नळ्या वजनानें पुनः सारख्या होतात; तर मध्योत्सारी प्रेरणेनें क कुचें वजन प कुचे वजनाहून कमी झाल्यामुळें, प क ह्यांतील कांहीं प्रकृत्यंश प कु ह्यांत येऊन दोन्ही नळ्या वजनानें पुनः सारख्या होतील; ह्यामुळें क कु नळी उंच होईल, आणि प क सखल होईल; आणि ह्या प्रमाणेंच सर्व गोलभर घडून, तो सर्व गोल ध्रुवांकडे चपटा होईल आणि मध्यरेषेकडे फुगीर होईल.

१९०. कोणत्याही ग्रहाच्या मध्य रेषेकडील प्रकृत्यंश ध्रुवांकडील प्रकृत्यंशांपेक्षां गुरुत्वमध्याकडे कमी ओढले जातात. ही गोष्ट ह्या पृथ्वीवरील आपले अनुभवास जमते. पदार्थांचें भूस्थ विषुववृत्तावरील

वजन कोणत्याही अक्षवृत्तावरील वजनापेक्षां कमी असतें. विषुववृत्तावर ज्या पदार्थाचें वजन १९४ शेर असतें. त्याच पदार्थाचें वजन ध्रुवावर १९५ शेर असतें, आणखी आंदोलकाचे विषुववृत्तावरील हेलकावे अक्षवृत्तावरील हेलकाव्यां पेक्षां कमी असतात. विषुववृत्तावरील स्थळीं ज्या आंदोलकाचे हेलकावे एका मध्यम सौर दिवसांत ८६४०० होतात, त्याच आंदोलकाचे हेलकावे तितक्याच कालांत लंदनांत ८६५३९ होतात. ह्या गोष्टीवरून असें सिद्ध होतें, कीं पृथ्वीच्या विषुववृत्ताकडील भाग ध्रुवांकडील भागापेक्षां भूमध्याकडे कमी ओढला जातो.

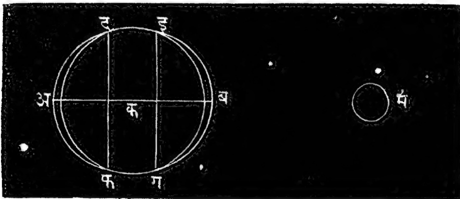
भरती ओहोटी.

१९१. भरती ओहोटी म्हणून समुद्राच्या नियमित गति आहेत; ह्या गतींनीं समुद्राचें पाणी दर दिवशीं सुमारें दोन वेळ चढतें, आणि दोन वेळ उतरतें. ह्यांनीं पृथ्वीच्या दीर्घ गोलाकृतींत थोडासा फेरफार होतो.

१९२. न्यूटन साहेबाचे जन्मापूर्वी इतकें मात्र ठाऊक होतें, कीं भरती ओहोटींचा कांहीं संबंध चंद्राशीं आहे; आमावस्येच्या आणि पूर्णिमेच्या सुमारास त्या पूर्ण असतात, आणि शुद्ध आणि वद्य अष्टमीचे सुमारास फार कमी असतात; परंतु सार्वत्रिक गुरुत्वाकर्षणानें होणारीं जीं नानाविध कार्यें त्यांतीलच भरती ओहटी हें एक आहे, असें पहिल्यानें न्यूटन साहेबास समजलें. पृथ्वीच्या प्रवाही पृष्ठभागावर सूर्य चंद्राचें आकर्षण सतत चालू असल्यामुळें भरती ओहटी होतात. पूर्वीं असें सांगितलें आहे, कीं कोणत्याही प्रवाही पदार्थावर बाह्य पदार्थांचें आकर्षण चालू नसलें, तर मात्र तो आपले गुरुत्वानें वाटोळा होतो. जर त्याचे एका बाजूकडे दुसऱ्या पदार्थाचें आकर्षण चालू असलें, तर त्याचा कांहीं भाग त्या बाजूकडे ओढला जाईल, आणि अर्थातच त्याची गोलाकृति नाहींशी होईल. ह्या प्रमाणेंच पृथ्वी जेव्हां मृदु किंवा पातळ होती, तेव्हां तिच्या कोणत्याही स्थलावर तो चंद्र नेहमीं राहिला असता, तर चंद्राचे आकर्षणामुळें

पृथ्वी लांबोडी झाली असती, आणि तिची लांबोडी बाजू **चंद्राकडे** असती. जर **चंद्र** आतां स्थिर झाला, तर पृथ्वीवरील प्रवाही पदार्थ, म्हणजे सर्व महासागर, इतर भागांपेक्षां कांहीं भागीं अधिक ओढला जाईल, आणि तशा अनियमित स्थितींत सतत राहील; परंतु **चंद्रास** दैनंदिन आणि मासिक अशा दोन गति असल्यामुळें त्याचें स्थान क्षणोक्षणीं बदलतें, म्हणून पृथ्वीवरील पाण्यास नेहमीं एकाच स्थितींत राहतां येत नाहीं; तर **चंद्राचें** स्थान जसजसें बदलतें तसतसें स्थलांतर करावें लागतें. ह्यामुळें पृथ्वीवरील पाणी नेहमीं स्थान बदलीत असतें.

१९२. **चंद्राच्या** आकर्षणानें पृथ्वीचा जो भाग **चंद्राकडे** असतो, त्या भागावरील पाणी आणि त्या भागाच्या समोरच्या भागावरीलही पाणी चढतें; ह्यामुळें पृथ्वीच्या इतर सर्व भागांवरील पाणी उतरतें. **चंद्राच्या** आकर्षणानें पृथ्वी **चंद्राच्या** दिशेकडे फुगीर होते, आणि त्या दिशेच्या लंबदिशेस चापट होते. ह्या आकृतींत **म** हा **चंद्र** आहे, आणि मोठें वर्तुल पृथ्वी आहे. **चंद्राच्या** आकर्षणानें **ब** आणि **अ**



ह्या भागांभोंवतालचें पाणी चढतें, आणि **द इ ग फ** ह्या भागांतील पाणी उतरतें. **चंद्र** पृथ्वीच्या ज्या भागाच्या खस्वस्तिकीं असतो त्या भागावर **चंद्राचें** आकर्षण घडून, त्या भागावरीलच पाणी चढतें, इतकेंच नाहीं; तर त्या आकर्षणानें पृथ्वीची सर्व आकृति बदलते. **चंद्र** पृथ्वीच्या ज्या भागाच्या खस्वस्तिकीं असतो, तो भाग इतर सर्व भागांपेक्षां **चंद्रास** जवळ असतो, म्हणून आकर्षणाचे नियमाप्रमाणें त्या

भागावर **चंद्राचें** जितकें आकर्षण पडतें, तितकें कोणत्याही भागावर पडत नाहीं. **म चंद्र ब** भागाच्या खस्वस्तिकीं आहे, म्हणून तो **ब** भागास **क** पृथ्वीच्या मध्यापेक्षां अधिक ओढतो, आणि तेणेंकरून **ब** भाग **क** मध्यापासून अधिक दूर होतो, म्हणजे त्या भागावरील पाणी चढतें; परंतु **म** पासून **अ** भाग **क** मध्यापेक्षांही दूर आहे, म्हणून **म**, **क** मध्यास **अ** भागापेक्षां अधिक ओढतो, आणि त्यामुळें **क** मध्य **अ** भागापासून अधिक दूर होतो, किंवा **अ** भाग **क**चे अधिक मागें राहतो; ह्या कारणानें **अ** भागावरीलही पाणी चढतें; जर **चंद्राचें** आकर्षण पृथ्वीच्या सर्व भागांवर सारखेंच पडतें, तर पृथ्वीच्या वर्तुलाकृतींत मुळींच फेर होताना, आणि भरती ओहोटी-ह्याही होत्याना; परंतु **चंद्राचें** आकर्षण सर्व भागांवर सारखें पडत नाहीं; म्हणून चंद्रातिसन्निध भाग मध्यापासून जितका पुढें जातो, तितकाच **चंद्रा**तिदूर भाग मध्यापासून मागें राहतो; आणि तेणेंकरून त्या दोन्ही भागांवरील पाणी चढतें, आणि त्या दोन भागांच्या मधल्या प्रदेशावरील पाणी, त्या दोन भागांवरील पाणी जितकें चढतें, तितकेंच उतरतें. पृथ्वी पासून **चंद्राचें** अंतर आणि त्याच्या प्रकृत्यंशाचें मान ह्यांपासून गणितानें असें येतें कीं **चंद्राचें** आकर्षणानें पृथ्वीच्या चंद्राति-सन्निध आणि चंद्रातिदूर भागांवरील पाणी त्या दोन भागांच्या मधच्या प्रदेशावरील पाण्या पेक्षां ५८ इंच म्हणजे सुमारें ५ फूट अधिक चढावें.

१९४. **सूर्याच्या** आकर्षणानेंही वरच्या प्रमाणेंच परिणाम घडतो. प्रकृत्यंश मानानें सूर्य **चंद्राच्या** जितके पट आहे, त्यापेक्षां पृथ्वीपासून **सूर्याचें** अंतर **चंद्राच्या** अंतराच्या अधिक पट आहे; म्हणून त्याच्या आकर्षणानें घडणारा परिणाम **चंद्राच्या** आकर्षणानें घडणाऱ्या परिणामापेक्षां कमी असतो. त्याच्या आकर्षणानें पृथ्वी वरील पाणी २३ इंच म्हणजे सुमारें २ फूट चढतें..

१९५. परंतु **चंद्र** ६ अवरांत पृथ्वी भोंवतीं एक वर्तुलपाद म्हणजे ९०° फिरतो, म्हणून ६ अवरांच्या प्रारंभीं ज्या स्थलीं ओहटी

असते, त्याच स्थलीं ६ अवरांच्या शेवटीं भरती येऊं लागते. ह्या प्रमाणें ६ अवरांनीं स्थलविपर्यास होतो; म्हणजे जेथें भरती असतें, तेथें ओहोटी होते, आणि जेथें ओहोटी असते, तेथें भरती येते. दुसरें, ६ अवर आणि कांहीं मिन्युटें इतक्या कालानें चंद्र पृथ्वी भोंवतीं अणखी एक वर्तुलपाद फिरतो, आणि त्याच्या आकर्षणानें सुमारें १२ अवरांचे पूर्वी जेथें भरती आली होती, तेथेंच पुनः भरती येते. दुसऱ्या अर्ध दिवसांत पहिल्या अर्ध दिवसा प्रमाणें फेरफार होतात. ह्याप्रमाणें एका पूर्ण चांद्र दिवसांत पृथ्वी वरील प्रत्येक स्थलीं दोन वेळ भरती आणि दोन वेळ ओहोटी येते. चांद्र दिवसाचें मान सुमारानें २४ अवर आणि ५६ मिन्युटें आहे, म्हणून कोणत्याहि एका स्थलीं भरती आल्यापासून पुनः भरती येण्यास १२½ तास लागतात. साधारणपणें भरती ओहोटी प्रत्येक दिवशीं आदले दिवसापेक्षां दोन घटिकांनीं मागून येतात.

१९६. चंद्राच्या आकर्षणानें प्रत्येक चांद्र दिवसांत जशा दोन भरती ओहोटी होतात, तशाच सूर्याच्या आकर्षणानेंहि प्रत्येक सौर दिवसांत दोन भरती ओहोटी होतात. ज्या स्थलीं सूर्याची भरती आणि चंद्राची भरती ह्या बरोबर येतात, त्या स्थलीं चंद्राची भरती तितक्यानें अधिक होते. म्हणजे ती ५ फुटांचे जागीं ७ फूट होते. ज्या स्थलीं चंद्राची भरती व सूर्याची ओहोटी बरोबर येतात, त्या स्थलीं चंद्राची भरती ५ फुट येत नाहीं, ३ फुट येते. अमावास्येस चंद्र आणि सूर्य ह्यांचे भोग सारखे असतात; म्हणून त्या दिवशीं ते दोघे पृथ्वीवरील पाण्यास एकाच दिशेनें ओढतात, आणि त्यामुळें चंद्राची भरती सूर्याच्या भरतीशीं मिश्रित होते. अशा मिश्रित भरतीस पूर्ण भरती किंवा उधानाचें पाणी म्हणतात. पूर्णिमेस चंद्र आणि सूर्य एकमेकापासून षड्भांतरीं असतात, म्हणून त्या दिवशींही चंद्राची भरती सूर्याच्या भरतीशीं मिश्रित होते, म्हणजे पूर्ण भरती येते. ह्या दोन दिवसां खेरीज इतर सर्व दिवशीं त्यांच्या आकर्षणाच्या दिशा भिन्न असतात, आणि शुक्ल वद्य अष्टमीस चंद्र आणि सूर्य एकमेका पासून ३ राशींचें अंतरानें असतात, म्हणजे एक क्षितिजांत

असला तर दुसरा पायांखालीं किंवा डोकीवर असतो, म्हणून त्या दिवशीं त्या दोघांच्या आकर्षणांच्या दिशांच्या मध्यें फारच मोठा कोन (म्हणजे काटकोन) असतो, आणि त्यामुळें भरती अगदीं कमी येते; अशा भरतीस निकृष्ट भरती किंवा भांगाचें पाणी म्हणतात; परंतु कालानुरोधानें होणाऱ्या गोष्टींत असा साधारण नियम आढळतो, कीं कार्य कारणा मागून लागलेंच दृष्टोत्पत्तीस येत नाहीं, मध्यें कांहीं काल जावा लागतो. उदाहरण, दिवसाची पराकाष्टेची उष्णता बारा वाजतांच होत नाहीं, तर एक दोन वाजतां होते. ह्याप्रमाणेंच **चंद्र** जेव्हां ज्या स्थलाच्या खस्वस्तिकीं येतो, तेव्हांच त्या स्थलीं भरती येत नाहीं; तर कांहीं वेळानें येते, आणि ह्या कारणानें पूर्ण भरती अमावस्या किंवा पूर्णिमा झाल्यावर एकदोन दिवसांनीं येते, आणि निकृष्ट भरती शुक्ल किंवा वद्य अष्टमी झाल्यावर एकदोन दिवसांनीं येते.

१९७. भरती ओहोटींत **सूर्य चंद्राच्या** क्रांतीं प्रमाणेंहि फेरफार होतो. जेव्हां **चंद्र** खस्थ विषुववृत्तांत असतो, तेव्हां तो पृथ्वीच्या विषुववृत्तावरतीं असतो, म्हणून **चंद्राची** भरती विषुववृत्तावर मोठी येते, आणि इतर प्रदेशांवर कमी येते. जेव्हां त्याची उत्तरक्रांति ५ अंश असते, तेव्हां तो ५ अंश उत्तर अक्षांतरावरील अक्षवृत्ता वरतीं असतो; म्हणून त्याची भरती त्या अक्षवृत्तावर मोठी येते, आणि विषुववृत्तावर कमी येते. ह्या रीतीनें **सूर्य चंद्राच्या** क्रांति जसजशा बदलतात, तसतशा प्रत्येक स्थलावरील भरती ओहोटी बदलतात. आणखी, जेव्हां **सूर्य चंद्राचे** भोग बराबर असतात, तेव्हां त्यांच्या आकर्षणांच्या दिशा समांतर असतात, परंतु जेव्हां त्यांचे भोग बराबर असून क्रांतिही बराबर असतात, तेव्हां त्यांचे आकर्षणाची दिशा एकच असते; म्हणून पूर्ण भरती ओहोटी देखील दर महिन्यास बदलतात. ग्रहण समयीं **सूर्य, चंद्र,** आणि पृथ्वी हीं एका सरल रेषेंत असतात, म्हणून तेव्हां मात्र फारच मोठी पूर्ण भरती किंवा पूर्ण ओहोटी येते. **सूर्य चंद्राच्या** क्रांतींतील फेरफारा वरून गणितानें असें समजलें आहे, कीं अत्यधिक पूर्ण भरती ओहोटीः अत्यल्पनिकृष्ट भरती ओहोटी::१० : ३.

१९८. भरती ओहोटींत किनाऱ्याच्या किंवा समुद्राच्या स्थिती प्रमाणेंही पुष्कळ भेद पडतो. क्रमाक्रमानें अरुंद होत गेलेल्या खाडींत, जेव्हां भरतीचें पाणी शिरतें, तेव्हां तें साधारण मानापेक्षां फारच अधिक चढतें. फंदीच्या आखातांत **अनापोलिस** म्हणून एक स्थल आहे, तेथें भरती आली म्हणजे समुद्राचें पाणी १२० फुट चढतें. **ब्रिस्तल** बंदरांत भरती आणि ओहोटी ह्यांच्या पाण्यामध्यें कधीं कधीं ४० फूट भेद पडतो. **पासिफिक** सारख्या विस्तृत महासागरांत भरती ओहोटींचें पाणी नियमित येतें. **भूमध्य** समुद्र बहुतकरून सरोवरा प्रमाणें असल्यामुळें, म्हणजे **आतलांतिक** महासागराशीं त्याचा संबंध फार थोडा असल्यामुळें, त्यांत भरती ओहोटी ह्यांच्या पाण्यामध्यें इतका थोडा भेद पडतो, कीं तो सहज लक्ष्यांतहि येत नाहीं.

१९९. वातावरणांतही भरती ओहोटी येतात, ही गोष्ट वायु-गुरुत्वमापक यंत्रांतील दररोजच्या फेरफारांवरून सहज समजते.

खस्थ पदार्थांच्या गतींतील फेरफार.

२००. पूर्वी असें सांगितलें आहे, कीं ग्रह आणि उपग्रह ह्या सर्वांस दोन गति आहेत, कक्षेंतून फिरण्याची गति, आणि आंसा-भोंवतीं फिरण्याची गति. ह्या दोन गति आणि ह्या गतींतील फेरफार ह्यांची उपपत्ति शिल्पशास्त्राच्या नियमांनीं चांगली होते; त्या फेरफारां-तून कितीएक तर शिल्पशास्त्राचे सिद्धांत आणि गुरुत्वाकर्षणाचा सिद्धांत ह्यांवरूनच पहिल्यानें लक्ष्यांत आले आहेत.

कक्षा आणि त्यांतील फेरफार.

२०१. शिल्पशास्त्राचा आधारानें **न्यूतन** साहेबानें असें सिद्ध करून दाखविलें, कीं सर्व ग्रहांवर सूर्याच्या आकर्षणा खेरीज दुसरें कोणतेंही आकर्षण न पडतें, तर ते सूर्याभोंवतीं बराबर दीर्घवर्तुलांत फिरते, आणि त्यांचीं गमनें **केप्लर**चे नियमांवरून बराबर काढितां येतीं; परंतु त्यांचें आकर्षण एकमेकांवर पडल्यामुळें त्यांच्या कक्षा दीर्घ-वर्तुलाहून फारच भिन्न पडतात; म्हणून तो भिन्नपणा म्हणजे त्यांच्या

कक्षा आणि दीर्घवर्तुल ह्यांच्या मधील भेद बराबर समजल्यावांचून त्यांचीं गमनें केप्लरचे नियमांनीं बराबर काढितां येत नाहींत. आतां कितीएक कल्पित प्रेरणां पासून होणारीं कार्यें गणितानें काढणें हा शिल्पशास्त्राचा विषय होय.

२०२. कक्षांतील फेरफाराविषयीं विचार करतांना, ज्योतिःशास्त्रज्ञ पहिल्यानें अशी कल्पना करितात, कीं एक पदार्थ दुसऱ्या पदार्था भोंवतीं फिरत आहे, आणि त्यावर तिसऱ्या पदार्थाचें आकर्षण पडून त्याच्या नियमित कक्षेंत भेद पडत आहे. चंद्र पृथ्वी भोंवतीं दीर्घवर्तुल कक्षेंत फिरत असतां, त्यावर क्षणोक्षणीं फेरफार होतो. जर त्यांतील प्रत्येकाची आकर्षणशक्ति समजली, तर प्रत्येकाच्या नियमित कक्षेंतील एकंदर फेरफार सहज काढितां येईल.

२०३. कोणत्याही खस्थ पदार्थाचीं गमनें आणि स्थिति बराबर समजण्या करितां कितीएक पदें बराबर समजावीं लागतात, त्या पदांस कक्षेचीं क्षेपक पदें म्हणतात; जोंपर्यंत कक्षा बराबर दीर्घवर्तुल असते, तोंपर्यंत तिचीं क्षेपकमानें अविकृत असतात; परंतु कक्षा दीर्घवर्तुलाहून थोडीशी भिन्न झाल्यास तिच्या एक दोन क्षेपक पदांत तरी फेर होतो.

२०४. ग्रहाच्या कक्षेचीं क्षेपक पदें.—

१ लें, **मध्यमांतर**, हें कक्षेच्या मोठ्या व्यासाच्या अर्धा बराबर असतें.

२ रें, **प्रदक्षिणाकाल** (किंवा भगण,) म्हणजे एक पूर्ण प्रदक्षिणा होण्यास जो काल लागतो तो.

३ रें, **केंद्रच्युति**, हीनें कक्षेच्या मोठे व्यासाचें धाकट व्यासाशी जें प्रमाण, तें कळतें.

४ थें, **कक्षातिर्यग्त्व**, म्हणजे कक्षा आणि क्रांतिवृत्त ह्यांच्या मधील कोन, कक्षातिर्यग्त्व आहे, तेंच असून, कक्षेच्या पातळीस पुढें मागें सरकतां येतें, ह्यामुळें तीस भिन्न भिन्न कालीं भिन्न भिन्नताऱ्यांत राहतां येतें.

५ वें, **पातरेषा**, म्हणजे कक्षेची पातळी क्रांतिवृत्ताच्या पातळीस

ज्या रेषेंत छेदते, ती रेषा. कक्षातिर्यक्त्व आहे, तेंच राहूनही कक्षावृत्त आणि क्रांतिवृत्त ह्या दोहोंतून एक दुसऱ्यावर पुढें मागें सरकत जाऊन, त्या दोहों वृत्तांची छेदनरेषा बदलण्याचा संभव आहे; म्हणून ती छेदनरेषा निश्चित करण्याकरितां एका पाताचा म्हणजे त्या वृत्तांच्या एके छेदन बिंदूचा भोग समजला पाहिजे. ग्रह क्रांतिवृत्ताच्या दक्षिण बाजूकडून उत्तर बाजूकडे जातांना ज्या पातांतून जातो, त्यास ऊर्ध्वपात म्हणतात; आणि दुसऱ्या पातास अधःपात म्हणतात. ह्या दोन पातांतून भोग सागण्या करितां ऊर्ध्वपात घेतात. **यूरोपा** मध्यें खस्थ उत्तरध्रुव क्षितिजा वर दिसतो; म्हणून क्रांति वृत्ताच्या उत्तर भागास ऊर्ध्व भाग, आणि दक्षिण भागास अधोभाग म्हणतात; ह्याच कारणानें नकाशाच्या वरच्या भागाकडे बहुधा उत्तर दिशा असते. ग्रहाच्या कक्षेचा ऊर्ध्वपात आणि मुख्य संपात ह्यांच्या मध्यें जो क्रांति वृत्ताचा भाग सांपडतो त्यास पातभोग म्हणतात.

६ वें, **कक्षेची दिशा**, म्हणजे कक्षेच्या मोठया व्यासाची दिशा. ग्रहाच्या भ्रमणाचा मध्य जो सूर्य त्याचें स्थान जर स्थिर केलें, तर ग्रहाच्या कक्षेंत दिशेची व्युत्क्रमस्थिति म्हणजे उलटा पालट झाल्यानें त्याच्या स्थानांत फार मोठा भेद पडेल. असा भेद न पडावा म्हणून सूर्यापासून अति संन्निध जो कक्षेंतील बिंदु त्याचा भोग सांगतात. सूर्यातिसंन्निध कक्षेंतील ह्या बिंदूस ग्रहाचें नीच किंवा नीच बिंदु म्हणतात, आणि सूर्यातिदूर बिंदूस ग्रहाचे उच्च किंवा उच्च बिंदु म्हणतात.

२०९. कोणत्याही चलताऱ्याच्या कक्षेचीं वर सांगितलेलीं सहा क्षेपक पदें माहीत आहेत, आणि त्या चलताऱ्यावर इतर चलताऱ्यांचें आकर्षण पडल्यानें प्रत्येक क्षेपक पदांत होणारा जो भेद तोही माहीत आहे, तर तो चलतारा पुढील अमके वर्षाच्या अमके दिवशीं आपल्या कक्षेच्या अमके स्थलीं असेल, असें गणितानें आणितां येण्याकरितां तो अमके वेळीं आपल्या कक्षेच्या अमके स्थलीं होता, एवढें मात्र समजलें पाहिजे. आणि एकाद्या चलताऱ्याच्या कक्षेच्या सहा क्षेपक पदांतील कोणतेंही एक विकार पावतांना आढळलें, तर त्या ताऱ्यास

तिसऱ्या एका चलताऱ्याचें आकर्षण चालू झालें आहे, असें समजावें; कां कीं एक पदार्थ दुसऱ्या भोंवतीं फिरत असला; तर मात्र त्या फिरणाऱ्याच्या कक्षेचें कोणतेंही क्षेपकपद विकार पावत नाहीं. दीर्घवर्तुल कक्षेंत फिरणाऱ्या पदार्थास आकर्षण करणारा दुसरा एक पदार्थ अशा स्थानीं असतो, कीं त्यामुळें कधीं कधीं पहिल्याच्या कक्षेचीं एक दोन क्षेपक पदें मात्र विकार पावतात, आणि अशा प्रकारचे प्रत्येक उदाहरणीं विकृत पदांतील प्रत्येकांत जो भेद पडतो, तो समजे अशी प्रेरणांचे पृथक्करणाच्या सिद्धांताची योजना करणें ही मुख्य गोष्ट आहे. पृथ्वीपासून चंद्राचें मध्यमांतर कधीं कधीं सूर्याच्या आकर्षणानें वाढतें, आणि तेणेंकरून चंद्राचा प्रदक्षिणाकाल वाढतो; आणि कधीं कधीं सूर्याच्या आकर्षणानें चंद्राचें मध्यमांतर कमी होतें, आणि तेणेंकरून त्याचा प्रदक्षिणाकाल कमी होतो. (प्रदक्षिणाकाल आणि मध्यमांतर ह्यांचा संबंध केप्लरचे तिसरे नियमांत दाखविला आहे.) आणखी, सूर्याच्या आकर्षणानें चंद्राच्या कक्षेची केंद्रच्युति बदलते; त्या आकर्षणानें चंद्राच्या कक्षेचें निर्यग्म तर बहुतकरून नित्य बदलतें; त्याचे योगानें चंद्राचे पात वरचेवर बदलतात; आणि चंद्रपातरेषा नियमानें सभोंवतीं फिरते; आणि सूर्य चंद्राच्या कक्षेची दिशाही क्षणोक्षणीं बदलते.

२०६. जेव्हां एक खस्थ पदार्थ दुसऱ्या खस्थ पदार्थाजवळ येतो, तेव्हां तो दुसऱ्यास अधिक आकर्षण करितो; आणि जेव्हां तो दुसऱ्यापासून दूर जातो, तेव्हां तो दुसऱ्यास कमी आकर्षण करितो; आणि पहिल्याच्या किंवा दुसऱ्याच्या गमनाच्या न्यूनाधिकत्वानें पहिला दुसऱ्यास ज्या दिशेनें आकर्षण करितो, ती दिशाही सतत बदलते. आतां ज्या खस्थ पदार्थाची आकर्षणशक्ति आणि आकर्षणदिशा दर अवरास आणि मिनुटास बदलतात, त्या खस्थ पदार्थाच्या आकर्षणानें दुसऱ्या एकादे खस्थ पदार्थाच्या कक्षेच्या प्रत्येक क्षेपक पदांत एका आठवड्यांत किंवा वर्षांत एकंदर जो फेर होईल, तो गणितानें काढणें ह्मटलें ह्मणजे फारच कठीण आहे.

२०७. आकर्षणानें ग्रहांच्या कक्षांत फारच थोडा भेद पडतो.

ग्रहांच्या कक्षांपेक्षां उपग्रहांच्या कक्षांत अधिक भेद पडतो, आणि धूमकेतूच्या कक्षांत पराकाष्टेचा भेद पडतो.

९. ग्रहांच्या कक्षांतील फेरफार.

२०८. ग्रहांच्या कक्षांत आकर्षणानें फारसा भेद न पडण्याचीं मुख्य कारणें दोन आहेत. एक, त्यांच्या कक्षांच्या केंद्रच्युति फारच लहान आहेत, म्हणजे त्यांच्या कक्षा बहुतकरून वर्तुलाकृतिच आहेत, आणि दुसरें, ते सर्व बहुतकरून एका पातळींतच आहेत; म्हणजे त्यांच्या कक्षा एकमेकींशीं फारसा मोठा कोन करीत नाहींत. पहिल्या कारणानें ते एकमेकांच्या अतिसंनिध येत नाहींत; आणि त्यामुळें एकमेकांवर एकमेकांचें आकर्षण पडल्यानें त्यांच्या कक्षांच्या केंद्रच्युतींत आणि दिशांत फारसा भेद पडत नाहीं, आणि दुसऱ्या कारणानें त्यांस एकमेकांच्या कक्षांच्या मधील कोन फारसे बदलवत नाहींत. जर त्या सर्वांच्या कक्षा एकाच पातळींत असत्या, तर ते एकमेकांच्या आकर्षणानें त्या पातळीचे बाहेर न जाते; परंतु त्यांच्या कक्षांच्या पातळ्या भिन्न भिन्न असल्यामुळें प्रत्येक ग्रह इतरांच्या आकर्षणानें आपले कक्षेच्या पातळीचे बाहेर जातो; परंतु त्याची कक्षा इतर कक्षांशीं जो कोन करिते, तो लहान असल्यामुळें फार थोडा जातो.

२०९. जर एकादा मोठा ग्रह दुसऱ्या एकादे लहान ग्रहाच्या फारच शेजारीं आला, तर त्याच्या आकर्षणानें त्या लहान ग्रहाच्या कक्षेच्या क्षेपक पदांत फार भेद पडतो; परंतु सूर्य जडत्वानें सर्व ग्रहांपेक्षां मोठा असल्यामुळें कोणत्याही ग्रहावर दुसऱ्या कोणत्याही ग्रहाचें आकर्षण फारसें मोठें पडत नाहीं; कां कीं सर्वांत मोठे ग्रहाची मुद्धां आकर्षणशक्ति सूर्याचे आकर्षणशक्तिशीं लावून पाहिली असतां अगदीं क्षुल्लक आहे. आणखी प्रत्येक ग्रहाच्या कक्षेच्या क्षेपक पदांत जो काय फेर होतो, तो नियतकालिक असतो, म्हणजे तो फेर कांहीं कालपर्यंत असतो; आणि त्या कालाचे शेवटीं नाहींसा होऊन

प्रत्येक क्षेपक पद त्या कालाचे आरंभीं जितकें होतें, तितकेंच असतें. ग्रहांच्या आकर्षणानें प्रत्येक ग्रहाच्या कक्षेच्या कोणत्या क्षेपक पदांत किती भेद पडतो, हें पाहूं लागलें, तर असें आढळतें, कीं मध्यमांतर आणि प्रदक्षिणा काल ह्यांत मुळींच भेद पडत नाहीं; म्हणून प्रत्येक ग्रहाचें वर्षाचें मान कमी किंवा अधिक होत नाहीं, आणि तो सूर्याच्या अति संन्निध किंवा सूर्यापासून अति दूर जात नाहीं. आणि प्रत्येक ग्रहाच्या कक्षेची केंद्रच्युति आणि तिर्यक्त्व ह्यांत जरी भेद पडतो, तरी तो कांहींएका परिमाणापेक्षां अधिक नसतो; म्हणजे वाढतां वाढतां त्या परिमाणापर्यंत येऊन पुनः कमी होऊं लागतो; ह्या कारणानें केंद्रच्युति आणि तिर्यक्त्व ह्यांचीं मध्यम मानें एकसारखींच राहतात. पातरेषा आणि नीचोच्चरेषा (म्हणजे कक्षेचा मोठा आंस) ह्यांत मात्र फार भेद पडतो; ह्या रेषा मंद पण नियमित अशा गतीनें फिरतां फिरतां किती एकां वर्षांनीं आकाशांत एक पूर्ण प्रदक्षिणा करितात.

२१०. जवळ जवळच्या दोन ग्रहांच्या आकर्षणांनीं प्रत्येकाच्या कक्षेच्या क्षेपक पदांत जे भेद होतात, ते कांहीं नियमित वर्षांनीं एका चमत्कारिक रीतीनें नाहींतसे होतात. जर एक सूर्याभोंवतीं एका वर्षांत एक फेरा करितो, तर दर दोन वर्षांनीं ते एकमेकां खालून जातील, म्हणजे त्यांचा संयोग होईल. आतां जर असें मानलें, कीं त्या दोघांचा संयोग झाल्यावर ते एकदम चालू झाले, तर पहिला ग्रह एका वर्षाचे अंतीं एक पूर्ण फेरा करून निघालेल्या स्थानीं येईल, आणि दुसरा ग्रह अर्धा फेरा करून पहिल्याचे समोर येईल. दुसऱ्या वर्षाचे अंतीं पहिला ग्रह एक पूर्ण फेरा करून पुनः निघालेल्या स्थानीं येईल, आणि दुसराही तेथेंच येईल; म्हणून त्या दोघांचा संयोग होईल, आणि ह्या दोन वर्षांत ते एकमेकाच्या संबंधानें ज्या ज्या स्थितींत आले असतील, त्या त्याच स्थितींत ते दर दोन वर्षांनीं पुनः पुनः येतील. आतां, जेव्हां त्या दोन ग्रहांचा संयोग होतो, तेव्हां ते दोघे सूर्याचे एका बाजूस असतात; म्हणून ह्या स्थितींत बाहेरल्या (म्हणजे सूर्यापासून अधिक अंतरावरच्या) ग्रहाच्या आकर्षणानें आंतल्या

ग्रहाचें **सूर्या**पासून अंतर वाढतें, आणि आंतल्या ग्रहाच्या आकर्षणानें बाहेरल्या ग्रहाचें **सूर्या**पासून अंतर कमी होतें; परंतु जेव्हां ते 'प्रतिभुजांतरीं म्हणजे एकमेकां समोर असतात; तेव्हां संयोगीं असतां जे परिणाम घडतात, त्यांहून अगदीं विरुद्ध परिणाम घडतात; आणि ह्या प्रमाणें ते दुसऱ्या कोणत्याही स्थितींत असतां जे परिणाम घडतात ते त्या स्थितीच्या विरुद्ध स्थितींतील परिणामांचे उलट असतात. ह्याप्रमाणें दर दोन वर्षांत प्रत्येक ग्रहाच्या कक्षेच्या क्षेपक पदांत कांहीं भेद होतात, आणि नाहींसे होतात; म्हणून दर दोन वर्षांनीं प्रत्येकाच्या कक्षेच्या क्षेपक पदांचीं मानें जशींचीं तशींच असतात. आतां असे कोणतेही दोन ग्रह नाहींत, कीं ज्यांचे प्रदक्षिणाकाल १ : २ ह्या प्रमाणांत आहेत; परंतु कित्येकांच्या प्रदक्षिणा अशा साधे प्रमाणांत आहेत, कीं त्यामुळें त्या ग्रहाच्या स्थितींत वरील प्रमाणें परिणाम घडतात. ते कांहीं एका कालांतरानें आकाशाचे एकाच स्थलीं येतात. जसें, **गुरू**चा प्रदक्षिणाकाल : शनीचा प्रदक्षिणाकाल :: २९ : ७२, किंवा सुमारानें : ५. आतां, ८५५ वर्षांत **शनि सूर्या** भोंवतीं २९ प्रदक्षिणा करितो, आणि **गुरु** ७२ करितो. आणि ह्या कालामध्यें प्रत्येकाच्या कक्षेच्या क्षेपक पदांत कांहीं भेद होऊन तो कांहीं एका परिमाणापर्यंत वाढतो, मग कमी कमी होत होत, शेवटीं नाहींसा होतो. म्हणजे ह्या कालाचे पहिल्या अर्धांत **गुरू**चें मध्यमांतर हळू हळू कमी होत जातें, आणि **शनी**चें मध्यमांतर हळू हळू वाढत जातें, आणि दुसऱ्या अर्धांत ह्याचें उलट घडतें; म्हणून **सूर्या**पासून दोघांचीं मध्यमांतरें ८५५ वर्षांचे प्रारंभीं जितकीं असतात, तितकींच शेवटीं असतात; आणि ह्याप्रमाणेंच दोघांच्या कक्षांचे इतर क्षेपक पदांत होतें. **बुध** आणि **शुक्र**, **शुक्र** आणि पृथ्वी, इत्यादि जवळ जवळच्या ग्रहांतही असीच गोष्ट घडते.

उपग्रहांच्या कक्षांतील फेरफार.

२११. ग्रहाच्या कक्षेत जे फेरफार होतात, ते त्याच्या उपग्रहाचे

कक्षेंत होतात; परंतु ते सूर्याच्या आकर्षणानें त्या उपग्रहाच्या कक्षेंत जे फेरफार होतात, त्याहून फारच कमी असतात. जर एखादा ग्रह आणि त्याचा उपग्रह हे सूर्यापासून सदां एकाच अंतरावर असते किंवा आकर्षण अंतराप्रमाणें बदललें नसतें, तर दोघांवर सूर्याचें आकर्षण सर्वदां एकसारखें असतें, आणि त्या ग्रहाभोंवतीं त्याचा उपग्रह एकाच कक्षेंत फिरता; परंतु प्रत्येक उपग्रहाच्या आंगीं स्वतांची गति असल्यामुळें सूर्यापासून त्याचें अंतर त्याच्या ग्रहाच्या (ह्मणजे तो ज्या ग्रहाभोंवतीं फिरतो त्या ग्रहाच्या) अंतरापेक्षां कधीं कधीं अधिक आणि कधीं कधीं कमी असतें; ह्मणून सूर्याचें आकर्षण ग्रह व त्याचा उपग्रह ह्या दोघांवर एकसारखें पडत नाहीं, आणि ह्या आकर्षणभेदामुळें उपग्रहाच्या कक्षेंत नानाविध फेरफार होतात.

२१२ सूर्याच्या आकर्षणानें चंद्राच्या कक्षेंत इतके मोठे फेरफार होतात, कीं त्याची कक्षा दीर्घवर्तुल आणि नियमित मानून केप्लरचे सिद्धांतांनीं त्याचें स्थान आणिलें, तर तें वेधानें आणिलेल्या स्थानाहून फारच भिन्न असतें. पृथ्वीची कक्षा दीर्घवर्तुल असल्यामुळें, पृथ्वी आणि चंद्र वर्षाचे एके वेळीं सूर्यापासून जितके दूर असतात, त्यांपेक्षां दुसरे वेळीं कमी दूर असतात. ह्या कारणानें पृथ्वी आपले उच्चाकडून नीचाकडे जाऊं लागली ह्मणजे चंद्राची गति शीघ्र होते, आणि पृथ्वी आपले नीचाकडून उच्चाकडे जाऊं लागली ह्मणजे चंद्राची गति मंद होते. ह्या परिणामास चंद्राचा वार्षिक फलसंस्कार म्हणतात. ह्यामुळें चंद्राच्या स्थानांत जी काय फार मोठी चूक पडते ती १० कला ह्मणजे चंद्रबिंबाच्या व्यासाच्या सुमारें एक तृतीयांश असते.

२१३. चंद्रावर सूर्याचें आकर्षण न पडतें, तर पृथ्वीपासून चंद्राचें अंतर जसजसें अधिक उणें होतें, तसतसा त्याचा वेग केप्लरचे पहिले सिद्धांताप्रमाणें उणा अधिक होता; परंतु सूर्याच्या आकर्षणानें चंद्राचा वेग त्याच्या कक्षेच्या प्रथम पादांत कमी होतो, द्वितीय पादांत वाढतो, तृतीय पादांत कमी होतो, आणि चतुर्थ पादांत पुनः वाढतो; म्हणून चंद्राचें वास्तविक स्थान केप्लरचे सिद्धांतानें आणिलेल्या स्थानाच्या

कधीं कधीं मागें आणि कधीं कधीं पुढें असतें. ह्या परिणामास **चंद्राच्या** वेगाचें न्युनाधिक्य म्हणतात, आणि ह्यामुळें **चंद्राच्या** स्थानांत जी कांय फार मोठी चुकी पडते, ती ३२ कला असते.

२१४. वर जे दोन प्रकारचे परिणाम सांगितले, त्यांतील पहिला पृथ्वीच्या कक्षेंत तिचें स्थान जसें असतें, तसा असतो, म्हणजे तो **सूर्याचें** स्थान आणि पृथ्वीचें स्थान ह्यांच्या मधील अंतराप्रमाणें बदलतो, आणि दुसरा आपले कक्षेंतील **चंद्राचें** स्थान **सूर्याच्या** संबंधानें जसें असतें, तसा असतो, म्हणजे तो **सूर्य** आणि **चंद्र** ह्यांच्यामधील अंतराप्रमाणें बदलतो. आतां **चंद्राची** कक्षा दीर्घवर्तुल आहे, म्हणून **चंद्राच्या** कक्षेंत तिसऱ्या प्रकारचा एक भेद उत्पन्न होतो. **चंद्र** ज्या कक्षेंत फिरतो, त्या कक्षेवर **सूर्याचें** आकर्षण पडल्यामुळें ती स्वतां भोंवतीं फिरते, म्हणजे तिचा मोठा आंस हळू हळू वर्तुळांत फिरतो. दर महिन्यास हा आंस कांहीं एक कोन पुढें जातो, आणि सुमारें नऊ वर्षांत एक सगळी प्रदक्षिणा करितो. हें गमन बहुतच अनियमित आहे; कांकीं **चंद्र** कक्षेचा मोठा आंस **चंद्र** स्वतां ज्या दिशेनें गमन करितो, त्याच दिशेनें गमन करितो, तरी कधींमधीं कितीएक महिनेपर्यंत **चंद्र** गमनाच्या विरुद्ध दिशेनें गमन करितो. ह्या गमनामुळें असें घडतें, कीं पृथ्वीपासून महत्तम आणि लघुतम अंतरावरील जीं **चंद्राचीं** स्थानें (म्हणजे **चंद्राचीं** उच्च व नीच स्थानें) तीं एकाच दिशेनें असत नाहींत; परंतु नऊ वर्षांत प्रत्येक दिशेनें असतात.

२१५. **चंद्राच्या** कक्षेच्या दिशेंत असा फेर होण्यास कारणीभूत जी कक्षेची केंद्रच्युति तीच स्वतां कमी जास्ती होते. आणि ही कमी ज्यास्ती होणें केंद्रच्युतीच्या मध्यममानाच्या एक पंचमांश असतें. जेव्हां **चंद्राच्या** कक्षेचा मोठा आंस **सूर्याकडे** असतो, तेव्हां केंद्रच्युति महत्तम असते. आणि जेव्हां धाकटा आंस **सूर्याकडे** असतो, तेव्हां केंद्रच्युति लघुतम असते. केंद्रच्युतीच्या अशा पालटण्यानें पृथ्वीपासून **चंद्राचें** जें मध्यमांतर तें बदलत नाहीं; परंतु **चंद्राचीं** महत्तम आणि लघुतम अंतरें बदलतात.

२१६. जरी सूर्य, चंद्र, आणि पृथ्वी हीं एकाच पातळींत असतीं तरी वर सांगितलेले परिणाम घडते; परंतु चंद्र कधीं कधीं पृथ्वीच्या कक्षेच्या पातळीच्या एका बाजूकडे असतो, आणि कधीं कधीं दुसऱ्या बाजूकडे असतो, ह्यामुळें त्याच्या कक्षेचें तिर्यक्त्व अधिक उणें होतें. मध्यममानानें चंद्राच्या कक्षेचें तिर्यक्त्व सुमारें पांच अंश आहे. ह्या तिर्यक्त्वावर सूर्याचें आकर्षण पडून दोन गोष्टी घडतात. पहिली गोष्ट ही, कीं चंद्रपातांची रेषा ह्मणजे चंद्राची पातळी आणि क्रांतिवृत्ताची पातळी ह्यांची छेदनरेषा हळू हळू फिरते, ह्यामुळें चंद्र क्रांतिवृत्त उल्लंघतांना ज्या स्थलीं येतो, तीं स्थलें बदलतात. हें गमन व्युत्क्रम असतें, ह्मणजे चंद्राच्या भ्रमणाचे विरुद्ध असतें. महिनाभर दररोज चंद्राचे वेध घेतले तर असें दिसतें, कीं चंद्र आपले उर्ध्वपातस्थानीं आल्यापासून अधःपातस्थानीं येईपर्यंत जो काल जातो, त्या कालांत पृथ्वी भोंवतीं चंद्राची बराबर अर्ध प्रदक्षिणा होत नाहीं; तर बराबर अर्ध प्रदक्षिणा होण्यास कांहीं जास्त काल लागतो; आणि उर्ध्वपातस्थानीं आल्यापासून पुनः उर्ध्वपातस्थानीं येईपर्यंत जो काल जातो, त्या कालांत बराबर एक प्रदक्षिणा होत नाहीं. उर्ध्वपात आणि अधःपात ह्यांचेमध्यें अंतर १८० अंशांहून कमी असतें, आणि उर्ध्वपातापासून उर्ध्वपातापर्यंत अंतर वर्तुलाहून (म्हणजे ३६० अंशांहून) कमी असतें. चंद्राचे पात विलोमगतीनें सुमारें १९ वर्षांत एक पूर्ण वर्तुल फिरतात. पातांचे प्रत्येक फेऱ्यांत सूर्यचंद्रग्रहणें बहुतकरून एकसारख्याच क्रमानें येतात; म्हणून पातांचा हा प्रदक्षिणाकाल ग्रहणें समजण्यास बहुत उपयोगी आहे. (१६४ वें कलम पहा). दुसरी गोष्ट ही, कीं चंद्राच्या कक्षेचें तिर्यक्त्व ८ कला अधिक उणें होतें, म्हणजे तें कधीं कधीं ५°:८′ असतें, आणि कधीं कधीं ४°:५२′ कला असतें.

२१७. गुरु आणि शनि ह्यांच्या उपग्रहांवर सूर्याचें आकर्षण असून, ते एकमेकांस आकर्षण करितात; म्हणून त्यांच्या कक्षांत चंद्राच्या कक्षेंतील फेरफारांपेक्षां अधिक फेरफार होतात; परंतु जवळजवळच्या दोन उपग्रहांच्या कक्षांत २११ व्या कलमांत सांगितलेला

परिणाम घडतो; ह्यामुळें एकमेकांच्या आकर्षणांनीं प्रत्येकाच्या कक्षेत जितके फेरफार व्हावे, तितके होत नाहींत. अलीकडे गुरूच्या उपग्रहांच्या गमनांतील कांहीं सुलभ नियम समजले आहेत त्या नियमांनीं कोणत्या उपग्रहाचें ग्रहण कधीं व केव्हां होईल, हें काढितां येतें. **शनीस** सात उपग्रह असून, त्याचे सभोंवतीं फिरणारें एक कडें आहे, म्हणून त्याच्या उपग्रहांच्या कक्षांत फारच फेरफार होतात, आणि त्यांचें स्थान काढणें फार कठीण पडतें.

धूमकेतूंच्या कक्षांतील फेरफार.

२१८. **धूमकेतूंच्या** कक्षांच्या केंद्रच्युति फार मोठ्या आहेत म्हणजे त्यांच्या कक्षांचे मोठे आंस धाकटे आंसा पेक्षां फारच मोठे आहेत, आणि त्यांच्या कक्षा क्रांतिवृत्ताच्या पातळीशीं बहुतकरून फारच मोठे कोन करितात, ह्यामुळें इतर खस्थ पदार्थांच्या आकर्षणानें त्यांच्या कक्षांच्या आकारमानांत आणि दिशांत पराकाष्ठेचे फेरफार होतात; आणि ते फेरफार गणितानें आणणें अतिशयित कठीण आहे म्हणून बहुतेक **धूमकेतूंचे** प्रदक्षिणा काल आजपर्यंत सुमारानें देखील समजले नाहींत. त्यांच्या प्रकृत्यंशांचीं मानेंही बदलतातशीं दिसतात. ते इतक्या हलक्या द्रव्याचे केले आहेत, आणि आकारमानानें इतके पसरले आहेत, कीं ते जेव्हां आपले नीचांतून जातात, तेव्हां जसें काय सूर्यांतच जाऊन मिळतात, असे दिसतात.

खस्थ पदार्थांच्या स्वतां भोंवतींच्या भ्रमणांतील फेरफार.

२१९. एकादा पदार्थ एकदां आपले आंसा भोंवतीं फिरता ठेविला, तर तो गतीच्या पहिले सिद्धांता प्रमाणें त्याच वेगानें सदां आपले आंसा भोंवतीं फिरत राहील; म्हणून जर आपले आंसा भोंवतीं एक प्रदक्षिणा करण्यास त्यास जो काल लागतो तो समजला, तर तो पुढें कोणत्याही काळीं कोणत्या स्थितींत असेल, हें आपणास निश्चित करितां येतें. ह्याकरितां शिल्पशास्त्राचे सिद्धांतां प्रमाणें ग्रहांचे

आंसा भोंवतींचें फिरणें एकसारखें असलें पाहिजे, आणि हें फिरणें खरोखरीं एकसारखें आहे, असें आपले पाहण्यांत नित्य येतें. पृथ्वीच्या दैनंदिन गतीनें सर्व भचक्राचें भासमान नित्य भ्रमण होतें आणि तेणेंकरून नाक्षत्र दिवस होतो. नाक्षत्र दिवसाचें मान फार प्राचीन कालापासून आजपर्यंत एकसारखें आहे.

२९०. ग्रहांचे आंगीं जो चपटेपणा आला आहे, तो पूर्वींच शिल्पशास्त्रद्वारें प्रसिद्ध करून दाखविला आहे; परंतु ग्रहांच्या आंगीं ध्रुवांकडे चपटेपणा आणि विपुववृत्ताकडे फुगीरपणा आल्यामुळें जरी त्यांचा आंसा भोंवतीं फिरण्याचा वेग कमजास्त होत नाहीं, तरी त्यांच्या आंसांची दिशा बदलते, म्हणून त्यांचे आंस एकेवेळीं एका नक्षत्रा समोर असतात, आणि दुसऱ्या वेळीं दुसऱ्या नक्षत्रा समोर असतात. पृथ्वी विपुववृत्ताकडे फुगीर आहे, म्हणून तिच्या गतींत दोन प्रकारचा अनियमितपणा उत्पन्न होतो. एक प्रकारचा अनियमितपणा, संपातांची विलोमगति, म्हणजे क्रांतिवृत्त विपुववृत्तास ज्या बिंदूंस कापतें, त्या बिंदूंचें मागें जाणें, हा होय. भूस्थ विपुववृत्ताची पातळी आकाशास ज्या वृत्तांत कापते, त्यास खस्थ विपुववृत्त म्हणतात; म्हणून जर पृथ्वी आपले आंसा भोंवतीं एका नवीन दिशेनें फिरूं लागल्यामुळें भूस्थ विपुववृत्त आपलें स्थान बदलतें, तर खस्थ विपुववृत्त आणि खस्थ ध्रुव ह्यांचीं स्थानें बदलतील, क्रांतिवृत्तावर संपातविलोमगति संपातांच्या मागें सरण्यानें दृष्टीस पडते; संपातविलोमगती मुळें खस्थ ध्रुवाच्या स्थानांत भेद पडतो; ह्यामुळें खस्थ ध्रुव क्रांतिवृत्ताच्या ध्रुवा भोंवतीं वर्तुलांत फिरतो. पृथ्वीच्या विपुववृत्ताकडील फुगीर प्रदेशावर सूर्य चंद्राचें आकर्षण पडल्यानें असा परिणाम घडतो. जर पृथ्वी बराबर गोल असती, तर कोणत्याही खस्थ पदार्थाच्या आकर्षणानें तिची आपले आंसावरील स्थिति, म्हणजे आंसा भोंवतीं फिरण्याची दिशा बदलती ना; परंतु ती विपुववृत्ताकडे फुगीर असल्यामुळें, आकर्षणानें उपग्रहाच्या कक्षेची पातळी जशी बदलते तशी विपुववृत्ताकडील फुगवट्याची पातळी बदलते;

परंतु विषुववृत्ताकडील फुगवटा पृथ्वीच्या गोला भोंवतीं सछम असल्यामुळें त्या फुगवटयाची पातळी उपग्रहाच्या कक्षेचे पातळि इतकी बदलत नाहीं, कमी बदलते. चंद्राच्या कक्षेची पातळी क्रांतिवृत्ताच्या पातळींत नसल्यामुळें, आकर्षणाने चंद्राच्या कक्षेच्या पातळींत जसा फेरफार होतो, तसाच विषुववृत्ताकडील फुगवटयाचे पातळींत होतो; परंतु, विषुववृत्ताकडील फुगवटा पृथ्वीच्या गोलाशीं सछम असल्यामुळें त्या फुगवटयाच्या पातळींत उपग्रहाच्या पातळींतले फेरफारा इतका फेरफार होत नाहीं; कमी होतो. चंद्राच्या कक्षेची पातळी क्रांतिवृत्ताच्या पातळींत नसल्यामुळें चंद्राच्या कक्षेचे पातळींत जसा फेरफार होतो, तसा फेरफार विषुववृत्ताकडील फुगवटयाचे पातळींत होतो; म्हणजे पृथ्वीचें विषुववृत्त. क्रांतिवृत्तास ज्या बिंदूंत कापतें, ते बिंदु (म्हणजे संपात) क्रांतिवृत्तावर मागें मागें जातात. हें मागें जाणें दरवर्षास ५० विकला असल्यामुळें, संपातांची एक पूर्ण प्रदक्षिणा होण्यास सुमारें २६००० वर्षे लागतात. ह्या कालांत खस्थ ध्रुव ताऱ्यांमधून क्रांतिवृत्ताच्या तिर्यग्त्वा इतके त्रिज्येच्या वर्तुलाची एक प्रदक्षिणा करितो. भोंवरा फिरत असतां त्याचा आंस जसा डुलत असतो, तसें संपातविलोमगति हें पृथ्वीचें डुलणें आहे.

२२९. पृथ्वीच्या गतींत दुसऱ्या प्रकारचा जो अनियमितपणा उत्पन्न होतो, तो पृथिव्यक्षदिग्भेद, ह्मणजे पृथ्वीच्या आंसाच्या दिशेंतील भेद होय. पृथ्वीच्या विषुववृत्ताकडील फुगवटयावर चंद्राचें आकर्षण पडतें; म्हणून विषुववृत्त चंद्राच्या कक्षेच्या पातळीकडे कळतें; परंतु चंद्राची कक्षा क्रांतिवृत्ताशीं कललेली असून तिचे पात स्थिर नसतात; ते क्रांतिवृत्तावर विलोमगतीनें १९ वर्षांनीं एक पूर्ण प्रदक्षिणा करितात; म्हणून संपातविलोमगतीची दिशा नेहमीं एकच नसते, आणि अर्थातच पृथ्वीच्या आंसाचा कल नेहमीं एकच नसतो, भिन्न भिन्न कालीं भिन्न भिन्न असतो. ह्याप्रकारें पृथ्वीचा आंस एकोणीस वर्षांत एके लहानसें

दीर्घवर्तुल फिरतो; त्या दीर्घवर्तुलाचा मोठा आंस १८$\frac{1}{2}$ सेकंद, आणि धाकटा आंस १३$\frac{3}{4}$ सेकंद असतो. मुख्य संपात बिंदुपासून विषुवांतर आणि भोग मोजतात; म्हणून तो बिंदु स्पष्ट समजण्याकरितां, त्याची विलोमगति आणि पृथ्वीच्या आंसाची दिशा ह्या दोन्ही समजल्या पाहिजेत. खस्थ पदार्थांचे वेधास मागें सांगितलेले लंबनादि तीन संस्कार केल्यावर, संपातविलोमगति आणि पृथिव्यक्षादिग्भेद हा एक चवथा संस्कार करावा लागतो.

सूर्यमालेचें स्थैर्य.

२२२. चलताऱ्यांचीं आकर्षणें एकमेकांवर पडल्यामुळें त्यांचे गतींत जे फेरफार होतात, ते सांगितले; परंतु त्या फेरफारांनीं सूर्यमालेच्या सांप्रत स्थितींत कांहीं कालानें कांहीं भेद होईल किंवा न होईल, ह्याविषयीं आतां विचार करणें आहे. जर कांहीं कारणानें एकादा ग्रह आणि सूर्य ह्यांजमधील अंतर दरवर्षास नियमानें थोडेंकेंसें कमी होत असलें, तर हें उघड आहे, कीं कांहीं कालानें तो ग्रह सूर्यावर जाऊन पडेल; परंतु असें पाहण्यांत आलें आहे, कीं ग्रहांच्या एकमेकांवरील आकर्षणांनीं सूर्यापासून त्यांचें मध्यमांतर आणि दीर्घवर्तुल कक्षेचें साधारण आकारमान हीं बदलत नाहींत. आतां, पृथ्वी सभोंवतींच्या वायूनें पदार्थांच्या गतींस जसा प्रतिबंध होतो तसा खस्थ पदार्थांच्या गतींस प्रतिबंध करण्याजोग्या अशा एकाद्या वायूनें ग्रहांच्या मधील जागा भरली असली, तर मात्र सूर्यमालेची सांप्रतची स्थिति बदलेल. अशा प्रकारच्या वायूनें ग्रहांच्या मधील जागा व्यापली आहे किंवा नाहीं, ह्याविषयीं अजून कांहींच बरोबर ठाऊक नाहीं; परंतु हें खचीत आहे, कीं जरकरितां तशा प्रकारचा वायु असला, तर तो पराकाष्ठेचा विरल असावा, आणि त्याच्यानें ग्रहांच्या सांप्रत स्थितींत लक्षांत येण्याजोगा भेद लाखोंही वर्षांचे आंत होऊं नये; तथापि तशा प्रकारचा वायु असलाच, तर त्याच्या योगानें कधींनाकधींतरी सूर्यापासून ग्रहांचीं मध्यम अंतरें कमी होतील, आणि ग्रहांच्या कक्षा

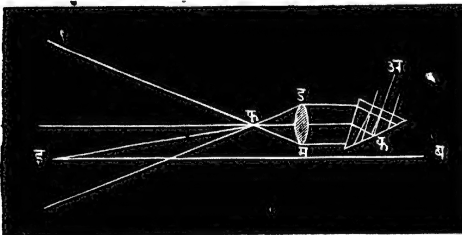
अनंत आहे, आणि अनंत शब्दाचा अर्थ बराबर समजण्यास आकाशांतील अचलतारे मात्र चांगलें स्थल आहे.

२२६. तथापि अमका तारा अमके प्रतीचा आहे, असें म्हणणें केवळ समजुतीवर आहे. कांकीं अमकेच ठिकाणीं एक प्रती संपते, आणि दुसरी लागते, असें सांगणें अगदीं अशक्य आहे. म्हणून ताऱ्यांच्या प्रतींविषयीं, भिन्न भिन्न ज्योतिःशास्त्रज्ञांचें भिन्न भिन्न मत पडतें. परंतु प्रत्येक ज्योतिःशास्त्रज्ञाचे मताप्रमाणें पहिले प्रतींत; सुमारें तेवीस चोवीस मुख्य तारे आहेत; दुसरींत पन्नास साठ आहेत; तिसरींत सुमारें २००आहेत; आणि ह्याप्रमाणें जसजशी खालची प्रत घ्यावी, तसतशी त्या प्रतींतील ताऱ्यांची संख्या वाढते. पहिले प्रतीपासून सातवे प्रतीपर्यंत ताऱ्यांची जी एकंदर संख्या आजपर्यंत समजली आहे ती १२००० आणि १५००० ह्यांचे मध्यें आहे.

२२७. एकापुढची एक अशा कोणत्याही दोन प्रतींच्या ताऱ्यांच्या मधील चकाकीचा भेद इतका मोठा असतो, कीं त्या प्रतींच्या पोटांत आणखी चांगले आवांतर विभाग करितां येतात. भिन्न भिन्न चकाकीच्या ताऱ्यांकडे पाहण्याच्या कामांत वहिवाटलेल्या मनुष्यास सुद्धां पहिल्या किंवा दुसऱ्या प्रतीचे कोणतेही दोन तारे सारख्या चकाकीचे दिसत नाहींत; म्हणून अमका तारा अमकेच प्रतीचा आहे असें म्हणणें झाल्यास, प्रतींमध्यें पोट विभाग करावे लागतात. अशी गोष्ट जेव्हां पहिल्यानें पाहण्यांत आली, तेव्हां प्रत्येक प्रतींत, तीन विभाग मानले, आणि १प्र, १. २ प्र, २. १ प्र, २ प्र, इत्यादि; अशी चकाकीचें अपूर्ण मान दाखविण्याची रीति पाडली एथें १ प्र. म्हणजे पहिली प्रत, १.२ प्र, म्हणजे पहिले आणि दुसरें प्रतींच्या मधली, पण दुसरी पेक्षां पहिलीच्या जवळची प्रत, २१. प्र, म्हणजे पहिली आणि दुसरी ह्यांच्या मधची, पण पहिली पेक्षां दुसरीचे जवळची प्रत, इत्यादि. ही रीति अजूनही कित्येक पुस्तकांत सांपडते, आणि ही साधारण कामापुरती आहे; परंतु ज्योतिःशास्त्राचे ह्या भागांत जसजशी सुधारणा होत गेली, तसतशी ही अडाणी रीति

नाहींशी होऊन चकाकीचें अपूर्ण मान दशांशांत लिहिण्याची रीति प्रचारांत आली. ह्या रीतीनें काढिलेल्या प्रतीस सुमाराच्या प्रती म्हणतात. स्वरमंडल नामक नक्षत्राची सुमाराची प्रत १.५० आहे; पुनर्वसूची १.९४ आहे; ध्रुवताऱ्याची २.२८ आहे; आणि मिथुन राशींतील एका नक्षत्राची सुमाराची प्रत २५९ आहे.

२२८. ताऱ्याच्या चकाकीचीं मानें बराबर समजण्या करितां आजपर्यंत काढिलेल्या अनेक रीतींमध्यें जी बरीशी आहे, ती एथें सांगितली पाहिजे. ताऱ्याच्या चकाकीचें बराबर मान समजण्या पूर्वी, आपणास चकाकीचें असें एक प्रमाण शोधून काढिलें पाहिजे कीं त्याची चकाकी दर्शनानुशासनाचे नियमा प्रमाणें कमी करीत गेल्यानें तें कोणत्याही ताऱ्याच्या चकाकी बराबर करितां येईल, आणि तें कधींही बदलणार नाहीं, किंवा बदललेंच, तर तें त्याचें बदलणें गणितानें अगदीं बराबर काढितां येईल. **गुरु** सर्व ताऱ्यांपेक्षां चकचकीत आहे. त्याचें बिंब सर्वदां पूर्ण दिसतें. **सूर्या**पासून त्याचें अंतर बदलण्यानें मात्र त्याची चकाकी बदलते; आणि आकाशांत चंद्र नसतांही तो क्रमा क्रमानें क्षितिजा वरतीं बराच येतो; म्हणून **गुरु** हा ग्रह चकाकीचें चांगलें प्रमाण आहे. आतां **अ** स्थलीं **गुरु** आहे, आणि



त्याशीं जो तारा लावून पहावयाचा आहे, तो **ब** स्थलीं आहे, आणि **इ** स्थलीं पाहणाऱ्याचा डोळा आहे; तर पाहणारानें भरींव कांचेचा त्रिकोणाकृति **क** तुकडा असा ठेविला, कीं त्यावर **गुरु**चा प्रकाश पडून

फ आंतले आंत गतिबिंबित होऊन ज्या रेषेनें बाहेर पडतो ती रेषा ब इ रेषेशीं (म्हणजे ताऱ्याच्या रेषेशीं) समांतर होईल. मग पाहणारा गुरूचा प्रकाश प्रतिबिंबित होऊन बाहेर पडल्यावर, ड लेन्सावर घेतो म्हणजे डचे फ फोकसांत गुरूची प्रतिमा येऊन इ स्थलींच्या डोळ्यानें पाहतां येते; आणि इ स्थल ड म फ शंकूच्या आंसाचे इतके बाहेर असतें, कीं नुसत्या डोळ्यानें ताराही पाहतां येतो. आतां डोळा फ फोकसाजवळ आणल्यानें किंवा फ पासून दूर नेल्यानें, फ स्थलींच्या प्रतिमेची दृश्य चकाकी इ फ अंतराच्या वर्गाच्या व्युत्क्रम प्रमाणानें बदलते, म्हणून ती ताऱ्याच्या चकाकी बराबर करितां येते. ताऱ्याच्या चकाकी इतकी प्रतिमेची चकाकी झाल्यावर, पाहणारा इ फ मोजतो. मग दुसरा एक तारा घेऊन ह्या प्रमाणेंच इ फचें मान आणितो, म्हणजे त्यास इ फच्या दोन मानांवरून त्या दोन ताऱ्यांचें चकाकीचें प्रमाण समजतें. ह्या रीतीनें हजारों ताऱ्यां विषयीं करून पाहिल्यानें प्रत्येक ताऱ्याची प्रत आणितां येते; आणि ह्या रीतीनें आणिलेल्या प्रतीस ताऱ्याची शुद्ध प्रत म्हणतात. लुब्धकाची शुद्ध प्रत ०·४९ आहे; मूळ नक्षत्राची शुद्ध प्रत १·६ आहे; चित्रा नक्षत्राची शुद्ध प्रत १·७९ आहे; इत्यादि.

ताऱ्यांची वाटणी.

२२९. जरी ताऱ्यांच्या प्रती आणि त्यांच्या संख्या ह्यांपासून कांहींच सिद्ध होत नाहीं; तरी ते व त्यांचीं आकाशांतील स्थानें ह्यांपासून कांहींएक गोष्ट सिद्ध होते. जर आपण वरच्या वरच्या तीन चार प्रतींतील ताऱ्यांकडे मात्र पाहिलें, तर असें दिसतें, कीं आकाशांत ताऱ्यांची वांटणी बहुतकरून सारखीच आहे; परंतु जर आपण नुसत्या डोळ्यांनीं दिसणाऱ्या सर्व ताऱ्यांकडे पाहिलें, तर असें दिसतें, कीं आकाशगंगेकडे ताऱ्यांचा मोठा भरणा आहे; आणि दुसऱ्या बाजूस ताऱ्यांची संख्या उत्तरोत्तर कमी होत गेली आहे; आणि जेव्हां आपण दुर्बिणींतून दिसणाऱ्या ताऱ्यांकडे देखील आपली दृष्टि लावितों, तेव्हां

आकाशगंगा ताऱ्यांनीं गच्च भरून गेलेली दिसते. ह्यावरून असें स्पष्ट होतें, कीं आकाशगंगा म्हणून दुसरें कांहीं नाहीं; तर नुसत्या डोळ्यांनीं दिसणाऱ्या ताऱ्यांपासून चांगल्या दुर्बिणींतून दिसणाऱ्या निकृष्ट प्रतीच्या ताऱ्यांपर्यंत जे एकंदर तारे त्या सर्वांचा एकवटलेला प्रकाश आहे.

आकाशगंगा.

२३०. आकाशगंगेची रचना नुसत्या डोळ्यांनीं जितकी अनियमित दिसते. तितकीच अनियमित दुर्बिणींतून दिसते. आकाशगंगेच्या कितीएक भागीं तारे एका नियमानें पसरले आहेत, कितीएक भागीं ताऱ्यांचे समुदाय एकमेकांस अगदीं लागलेले आहेत, आणि कितीएक भागीं तर एकदेखील तारा नाहीं. कितीएक भागीं १५ कलांचे क्षेत्रांत सुमारें ४० किंवा पन्नास तारे आहेत; आणि कितीएक भागीं तितकेच क्षेत्रांत ४०० किंवा ५०० आहेत. पुनः आकाशगंगेंत प्रत्येक प्रतीच्या ताऱ्यांची संख्या ही फार अनियमित पसरली आहे. कितीएक भागीं निकृष्ट प्रतीच्या ताऱ्यांची संख्या इतकी थोडी आहे, कीं त्या भागांत ताऱ्यांच्या थरांतून पलीकडे आपणास स्पष्ट दिसतें. अशा स्थलीं ताऱ्यांच्या मधील आकाशाची जागा अगदीं काळी दिसते. दुसऱ्या कितीएक भागीं बहुतकरून सारख्या प्रतीचे व संख्येनेंही सारखे असे तारे दिसतात; आणि कितीएक भागीं अगदीं वरच्या प्रतीचे तारे आणि खालच्या प्रतीचे तारे एकमेकांशीं लागलेले दिसतात.

नियतकालिक तारे.

२३१. आतां अशा प्रकारचे मोठमोठे तारे अंतरालांत कशा करितां पसरले असावे बरें? हें स्पष्ट आहे कीं असे तारे पसरण्याचा हेतु आपणास रात्रीं प्रकाश देणें हा नव्हे; कांकीं आणखी एका लहानशा चंद्रानें आपणास चांगला प्रकाश मिळता. हे तारे चलताऱ्यांच्या गति समजण्यास उपयोगीं पडतात खरें; परंतु एवढया करितांच

हे केले आहेत, असें नाहीं; तर **ईश्वरानें** आपलें अगाध चातुर्य आणि शक्ति हीं दाखवण्या करितां ते केले आहेत. मागें सांगितलें आहे, कीं ग्रहांस सूर्यापासून प्रकाश मिळतो; परंतु ह्या ताऱ्यां विषयीं तशी गोष्ट नाहीं. हेच स्वतां वास्तविक **सूर्य** आहेत, आणि प्रत्येक तारा कदाचित् दुसऱ्या ग्रहांच्या कक्षांचा मध्य असेल.

२३२. जेव्हां एकादे खस्थ पदार्थाच्या स्वरूपांतील भेद कांहीं एका कालांतरानें फिरून दिसतो, तेव्हां असें सिद्ध होतें, कीं तो पदार्थ स्वतां भोंवतीं किंवा दुसऱ्या एकादे पदार्था भोंवतीं फिरतो. ताऱ्यांमध्यें कितीएक असे आहेत, कीं ते जरी इतरां पासून कधींही अधिक ऊणें अंतरावर दिसत नाहींत, किंवा दुर्बिणींतून त्यांच्या स्वरूपांत थोडासा देखील भेद दिसत नाहीं, तरी भिन्न भिन्न कालीं त्यांची चकाकी भिन्न भिन्न दिसते. अशा ताऱ्यांस नियतकालिक तारे ह्मणतात. ह्यांतून जो प्रसिद्ध आणि फार दिवसांपासून माहीत तो तिमिंगल पुंजांतील **ओमिक्रान** नांवाचा तारा आहे; त्याच्या चकाकींत भेद पडतो; असें पहिल्यानें **फ्राविशस** साहेबास सन १५९६ त समजलें. तो ११ वर्षांनीं सुमारें १२ दां ह्मणजे दि. ३३१ अ. १५ मि. ५ इतके कालानें फिरून मुळचे प्रतीचा दिसतो; तो सुमारें १५ दिवस २ ऱ्या प्रतींतील मोठे ताऱ्या इतका चकचकीत दिसतो; सुमारें तीन महिने पर्यंत त्याची चकाकी कमी कमी होत होत, तो शेवटीं नुसत्या डोळ्यानीं दिसेनासा होतो, आणि तशाच स्थितींत सुमारें ५ महिने असतो; मग त्याची चकाकी वाढतां वाढतां, सुमारें $2\frac{1}{2}$ महिन्यानीं तो पुनः २ ऱ्या प्रतीचा होतो. **अलगोल** ह्या नांवाचा दुसरा एक प्रसिद्ध नियतकालिक तारा आहे. तो दि. ५ मि. $13\frac{1}{2}$ पर्यंत बहुतकरून दुसऱ्या प्रतीचा तारा दिसतो; मग एकाएकी त्याची चकाकी कमी होऊं लागून, तो सुमारें $3\frac{1}{2}$ अवरांत ४/थे प्रतीचा होतो आणि सुमारें १५ मिन्यटें तसाच असतो. नंतर त्याची चकाकी वाढूं लागून आणखी $3\frac{1}{2}$ अव-

रांत तो पुनः २ ऱ्या प्रतीचा होतो. त्याच्या चकाकींत असा भेद पड-
ण्यास एकंदर दि. अ. मि. सें. २ २० ४८ ५८५ इतका काल लागतो. अलगोल ताऱ्या-
च्या चकाकीचा हा चमत्कारिक नियम गुडरिक साहेबास पहिल्यानें
समजला आणि त्यानें त्या नियमावरून असें अनुमान केलें, कीं त्या
ताऱ्या भोंवतीं फिरणारा असा एक अपारदर्शक गोल आहे कीं तो
जेव्हां आपण आणि तो तारा ह्यांच्या मध्यें येतो, तेव्हां त्याचा बहु-
तेक प्रकाश नाहींसा करितो. असे तारे पुष्कळ आहेत, आणि त्यांतून
कितीएकांच्या चकाकींतील भेद, आणि तो भेद पडण्याचा काल,
हे बराबर समजले आहेत.

अल्पकालिक तारे

२३३. कितीएक तारे कांहीं कालपर्यंत आकाशाच्या भिन्न भिन्न
भागीं पराकाष्ठेचे चकचकीत दिसत होते, ते आतां मुळींच दिसत-
नासे झाले आहेत. अशा ताऱ्यांस अल्पकालिक तारे म्हणतात.
खिस्ताचे पूर्वीं सुमारें १२५ वे वर्षीं एक तारा एकाकीं दिसूं लागला
आणि तो कांहीं दिवस दिवसासही दिसत असे. सन ३८९ त
श्रवण नक्षत्राजवळ शुक्रा इतकाच चकचकीत एक तारा तीन आठवडे
दिसत होता, तो पुढें मुळींच दिसेनासा झाला. सन १५७२ राचे
नोवेंबर महिन्याचे ११ वे तारखेस भूतपति आणि शर्मिष्ठा ह्या नांवा-
च्या नक्षत्र पुंजांमध्यें एक तारा संध्याकाळचे सुमारास एकाएकीं दिसूं
लागला होता. त्या वेळीं तो तारा लुब्धका इतका चकचकीत होता.
मग त्याची चकाकी वाढतां वाढतां, शुक्राच्या चकाकीहून अधिक झाली,
आणि पुढें तो भर दोनप्रहरीं दिसत असे. त्याच वर्षाचे दिसेंबर
महिन्यापासून त्याची चकाकी कमी होऊं लागली, आणि सन १५७४
राचे मार्च महिन्यांत तो मुळींच दिसेनासा झाला. ह्या सारखाच
एक तारा सन १६०४ चे अक्टोबर महिन्याचे १० वे तारखेस सर्पधारी
ह्या नांवाच्या नक्षत्र पुंजांत दिसूं लागला, आणि तो सन १६०५ चे

ऑक्टोबर पर्यंत दिसत होतो. आजपर्यंत अशा प्रकारचे कितीएक तारे पाहण्यांत आले आहेत. ताऱ्यांच्या प्राचीन कालच्या यादी आणि अर्वाचीन कालच्या यादी ह्या एकमेकींशीं लावून पाहिल्या असतां, असें दिसतें, कीं पुष्कळ तारे आकाशांतून हल्लीं दिसतनासे झाले आहेत.

२३४. दक्षिणार्ध गोलांतील **इप्सिस आर्गस** ह्या नांवाच्या ताऱ्याच्या चकाकींत जे भेद आजपर्यंत पाहण्यांत आले आहेत, ते फारच चमत्कारिक आहेत. सन १६७७ रांत हॅली साहेबानें तो चवथे प्रतीत गणिला होता. सन १७५१ नंतला **केली** साहेबास तो दुसरे प्रतीचा दिसला. सन १८११ पासून १८१५ पर्यंत तो पुनः चवथे प्रतीचा होता, आणि सन १८२२ पासून १८२६ पर्यंत पुनः दुसरे प्रतीचा होता. पुढें सन १८२७ त फेब्रुवारिचे १०ले तारखेस **वर्चेल** साहेबानें तो पहिले प्रतीचा पाहिला. मग त्याची चकाकी कमी होऊन तो दुसरे प्रतीचा झाला; आणि पुढें तो सन १८३७ पर्यंत तसाच राहिला. परंतु सन १८३८ चे प्रारंभीं तो एकाकीं **लुब्धक** आणि **अगस्त्य** हे तारे खेरीज करून पहिले प्रतीच्या सर्व ताऱ्यांपेक्षा चकचकीत झाला. नंतर तो पहिले प्रतीचा होऊन सन १८४३ पर्यंत तसाच राहिला, आणि, १८४३ चे एप्रिल महिन्यांत त्याची चकाकी वाढून तो **लुब्धका** इतका चकचकीत झाला. आतां, ह्या चमत्कारिक ताऱ्यास अल्पकालिक तारा म्हणतां येत नाहीं, कांकीं हा त्याप्रमाणें नाहींसा झाला नाहीं. बरें, ह्यास नियतकालिक तारा ह्मणावें, तर नियतकालिक ताऱ्याप्रमाणे ह्याच्या चकाकींतील भेदास कोणताच नियम नाहीं, आणि ते भेद कोणत्याहि एका कालांतरानें होत नाहींत. ह्या ताऱ्याच्या चकाकीच्या भेदांविषयीं भिन्न भिन्न ज्योतिःशास्त्र्यांनीं भिन्न भिन्न कल्पना केल्या आहेत; परंतु त्यांतून एकही निश्चयात्मक नाहीं.

समाप्त.

पुरवणी.

कोष्टक पहिलें.—सूर्यमालेंतील गोलांच्या कक्षांच्या क्षेपक पदांचीं मानें.

पदार्थाचें नांव.	सूर्यापासून मध्यम अंतर किंवा अर्ध व्यास.	मध्यम सौर दिवसांत मध्यम प्रदक्षिणाकाल.	अर्धव्यासाचे भागांत केंद्रच्युति.	क्रांतिवृत्ताशीं कक्षेचें तिर्यक्त्व. ° ′ ″	ऊर्ध्वपाताचा भोग. ° ′ ″
सूर्य					
बुध	०·३८७०९८१	८७·९६९२५८०	०·२०५५१४९	७ ० ९·१	४५ ५७ ३०·९
शुक्र	०·७२३३३१६	२२४·७००७८६९	०·००६८६०७	३ २३ २८·५	७४ ५४ १२·९
पृथ्वी	१·०००००००	३६५·२५६३६१२	०·०१६७८३६		
मंगळ	१·५२३६९२३	६८६·९७९६४५८	०·०९३३०७०	१ ५१ ६·२	४८ ० ३·५
फ्लोरा	२·२०१६८७०	११९३·२४९	०·१५६५५७०	५ ५३ ४·८	११० १८ १२·०
वेस्ता	२·३६१०८१०	१३२५·१४७	०·०८९५६९४	७ ८ २९·७	१०३ २३ ३१·६
ऐरिस	२·३८०६२४०	१३४१·६३६	० २२९९९२४	५ २८ १५·९	२५९ ४८ १०·२
मेटिस	२·३८५६०७०	१३४५·८५०	०·१२०२५३२	५ ३४ २७·८	६८ ३२ १७·४
हेबी	२·४२५७८६६	१३६९·९९४	०·२००१८०५	१४ ४७ ५·६	१३८ २९ ४२·६
आस्त्रेया	२·५७७०४७०	१५११·०९५	०·१८८०५८६	५ १९ २२·७	१४१ २५ १४·६
जूनो	२·६७०८३७०	१५९४·२९६	०·२५४८८४७	१३ ३ २२·१	१७० ५४ ४५·६
सेरीस	२ ७६८[illegible]५१०	१६८२·१२५	०·०७६६५२३	१० ३७ ४·४	८० ४८ ४६·६
पालास	२·७७२८५८०	१६८६·५१०	०·२३९८१५०	३४ ३७ ३३·१	१७२ ४३ ५९·७
गुरु	५·२०२७७६०	४३३२·५८४८२१२	०·०४८१६२१	१ १८ ५१·३	९८ ५६ १८·९
शनि	९·५३८७८६१	१०७५९·२१९८१७[illegible]	०·०५६१५०५	२ २९ ३५·७	११२ ५६ [illegible]०·४
युरेनस	१९·१८२३९००	३०६८६·८२०८२९६	०·०४६६७९४	० ४६ २८·४	७२ ५९ ३·३
नेपच्यून	३०·०३६८०००	६०१२६·७१०००००	०·००८७१९५	१ ४६ ५९·०	१३० ५ ११·[illegible]

कोष्टक पहिलें चालू. ग्रहांच्या कक्षांचीं क्षेपकमानें.

पदार्थाचें नांव.	नीच बिंदूचें भाग.	क्षेपक कालाचा मध्य { ग्रह (ग्र.) केंद्र (कें.) }	{ ग्रीनिच (ग्री) बर्लिन (ब) } एथील मध्यम सौरदिवसांत क्षेपक काल.	प्रकाशांश (एकाला भाजक).	इंग्लिश मैलांत व्यास.	दार्ढ्य.	आंसाभोवतीं फिरण्याचा काल.
	० | ॥	० | ॥					अ. मि.
सूर्य			अ	१	८८२०००	०·२५	६०७ ४८
बुध	७४ २१ ४६·९	ग्र = ९६६ ० ४८·६	सन १८०१ जानु. १.०. ग्री.	४८६५७५२	३१४०	१·१२	२४ -५
शुक्र	१२८ ४३ ५३·१	११ १३ ३·०	वर प्रमाणें	५०१८३९	७८००	०·९२	२३ २१
पृथ्वी ..	९९ ३० ५·०	१०० ३९ १०·३	वर प्रमाणें	३८९५५१	७९२६	१·००	२४ ०
मंगळ ..	३३२ २३ ५६·६	६४ २२ ५५·५	वर प्रमाणें अ	२६८०३३७	४९००	०·९५	२४ ३७
फ्लोरा ..	३३ ० ४०·८	कें = ३५ ४८ ७·०	सन १८४८ जानु. १ ०. ब.	. .. ..			
वेस्ता	२५० ४६ ३२·२	२२५ ४५ १८·८	१८५० जानु. ९.०. ब.	. .. ..	२५०?		
इरिस ..	४१ ४१ १३·५	३३० ४१ ५४·०	१८४८ जानु. १.०. ब.	.. .. ..			
मेटीस ..	७० ३३ ४२·८	१४६ ३० १८·५	१८४८ से. ५.१२. ब.	. .. ..			
हीबी	१४ ५० ५०·३	२०५ ८ ५१·३	१८४७ जानु. १.०. ब.	.. .. ..			
आस्त्रिया..	१३५ २० ४०·०	३१८ ४५ ३·२	१८४६ जानु. १.०. ब.	.. .. ..			
जूनो ...	५४ २४ १२·८	१२८ ३१ १०·८	१८५० आग्टो. ८.०. ब.	:	७९?	....	२७ ०?
सेरीस ..	१४७ ४६ १२·४	२१९ ६ २९·५	१८५० सप्टें. २५.०. ब.	.. .. ..	१६३?		
पालास ..	१२१ २१ ४८·५	२१२ ३९ १०·६	१८५० आग. २३.०. ब	.. .. ..			
गुरु	११ ८ ३४·६	ग्र = ११२ १५ २३·०	सन १८०१ जानु. १.०. ग्री.	१०४७·८७१	८७०००	०·२४	९ ५६
शनि	८९ ९ २९·८	१३५ २० ६·५	वर प्रमाणें.	३५०१·६००	७९१६०	० १४	१० २९
युरेनस ..	१६७ ३१ १६·१	१७७ ४८ २३·०	वर प्रमाणें.	२४९०५	३४५००	० २४	-९ ३०
नपच्यून ..	४७ १२ ५६·७	२३० ४४ ४१·८	सन १८४८ जानु. १ ०. ग्री.	१८७८०	४९५००	०.१४	....